

# GIESSEREI-ZEITUNG

Zeitschrift für das gesamte Giessereiwesen

Organ des Vereins Deutscher Giessereifachleute

Verlag Rudolf Mosse, Berlin SW 19

Nr. 7

1. April 1916

XIII. Jahrgang

Die Zeitschrift erscheint Anfang und Mitte jedes Monats. Jährlicher *Bezugspreis* 16 Mark, für das Ausland 18 Mark. Zu beziehen durch portofreie Einsendung dieses Betrages an den Verlag der Giesserei-Zeitung, Berlin SW, Jerusalemer Strasse 46-49, oder durch die Post (Preisliste des Postzeitungsamts für 1916). Alle Zuschriften in redaktionellen Angelegenheiten sind zu richten an die Schriftleitung der Giesserei-Zeitung, Berlin SW 19. — Der *Insertionspreis* beträgt 50 Pfennig für die zweigespaltene Peritzelle. Alleinige Inseraten-Annahme *Annoncen-Expedition Rudolf Mosse*, Berlin SW, Breslau, Chemnitz, Dresden, Düsseldorf, Frankfurt a. M., Halle a. S., Hamburg, Köln a. Rh., Leipzig, Magdeburg, Mannheim, München, Nürnberg, Strassburg i. E., Stuttgart, Prag, Wien, Warschau, Basel, Zürich.

**INHALTS-VERZEICHNIS:** Die Gefügelehre der Metalle und Legierungen. Von J. Czochralski in Berlin. — Neue Patente auf Rüttelformmaschinen. Von Dipl.-Ing. Pradel in Berlin. — Patente. — Versammlungsberichte. (Verein deutscher Eisenhüttenleute, Düsseldorf.) — Zeitschriftenschau. — Nachrichten aus der Industrie. — Fragekasten.

## Die Gefügelehre der Metalle und Legierungen.

Von J. Czochralski in Berlin.

Der Gefügebau ist ausschlaggebend für alle Eigenschaften der Metalle und Legierungen. Dieser Aufbau wird bestimmt durch zwei grundlegende Faktoren: Art und Gewichtsverhältnis der Gefügebestandteile einerseits und deren Abhängigkeit von den mechanisch-physikalischen Veränderlichen andererseits.

Gerade der erste für die Legierungstechnik so überaus bedeutende Faktor hat noch immer nicht die gebührende Beachtung in unseren Fachkreisen erlangt, daher soll an dieser Stelle die Gefügelehre und in einigen weiteren Beiträgen auch ihre praktische Anwendung im Giessereigewerbe an Hand von Beispielen eingehender erörtert werden.

Nicht nur die Metalltechnik der Gegenwart wird von diesen grundlegenden Faktoren beherrscht, sondern auch ihre zukünftige Weiterentwicklung im höchsten Grade beeinflusst. In der letzten Hauptversammlung des Vereins Deutscher Giessereifachleute wies Prof. Heyn darauf hin, „dass auf dem Gebiete der Metalltechnik die Nation sicherlich den anderen gegenüber einen Vorsprung gewinnen wird, bei der am frühesten Wissenschaft und Praxis sich zu gegenseitiger Befruchtung und Zusammenarbeit vereinigen“. Dieser Gesichtspunkt hinsichtlich des Zusammenwirkens der deduktiven und angewandten Metallographie diene den nachfolgenden Ausführungen als Richtschnur.

### Grundregeln der Phasenlehre.

#### Phasen.

Sobald eine einfache oder zusammengesetzte Metallschmelze zu erstarren beginnt, scheiden sich feste Kristalle aus ihr ab. Die Kristalle können reine Metalle, metallische Verbindungen, metallische Lösungen oder deren mechanische Gemenge und, wenn es

sich nur um reines Metall handelt, natürlich nur reine Kristalle dieses Metalls sein. W. Gibbs gab den einzelnen Kristallarten den Namen Phasen und dehnte ihn auch auf die verschiedenen festen Formarten, die sogenannten allotropen oder polymorphen Modifikationen, sowie auf den flüssigen und den dampfförmigen Zustand aus. Mit ihnen ist die Zahl der Phasenarten erschöpft. „Demnach sind Phasen die gleichteiligen (homogenen) Stoffe, die in Gemengen vorkommen.“

#### Gleichgewichte.

Wir wissen, dass Wasser und Eis bei 0° und gewöhnlichem Atmosphärendruck, aber auch bei anderen zugeordneten Werten von Temperatur und Druck dauernd nebeneinander bestehen können, ohne gegenseitig ihre Eigenschaften zu ändern. Es tritt hier ein Stillstand der Reaktionen ein, bei dem weder Wasser gefriert noch Eis schmilzt. Man drückt dies aus, indem man sagt: „Können zwei oder mehrere Phasen dauernd nebeneinander bestehen, ohne gegenseitig ihre Eigenschaften zu ändern, so befinden sie sich im Gleichgewicht.“

Hierbei ist es gleichgültig, ob geringe oder grosse Mengen der einzelnen Phasen zugegen sind und welche Phasen sich gegenseitig berühren, da das Gleichgewicht sowohl von der Menge, mit der die einzelnen Phasen im System vertreten sind, wie von ihrer gegenseitigen Anordnung unabhängig ist. Für einfache Beispiele war dieser Satz auch längst bekannt, erst die Phasenlehre bewies seine Allgemeingültigkeit.

#### Freiheiten.

Eis, Wasser und Wasserdampf können bei gewöhnlichem Atmosphärendruck überhaupt nicht nebeneinander bestehen, nur bei dem Sonderdruck von 4,6 mm und der zugeordneten

Temperatur von  $0,007^{\circ}$  über Null befindet sich das Dreiphasensystem im Gleichgewicht.

Ändert man den Druck oder die Temperatur um den geringsten Betrag, so verschwindet eine der Phasen. Zieht man weitere Grenzen von Druck und Temperatur in Betracht, so geht dieser Einfluss noch viel weiter, indem man die Stoffe veranlassen kann, nicht nur aus dem einen Aggregatzustand in den anderen, sondern aus der einen Formart in die andere überzugehen. Es existieren unterhalb etwa minus  $20^{\circ}$  und einem Druck über  $2000 \text{ kg/cm}^2$  beispielsweise noch zwei weitere Eisarten (Eis II und III). Hieraus ist ersichtlich, in wie hohem Masse die willkürlich veränderlichen Grössen Druck und Temperatur die Phasenumwandlung beeinflussen. Da über diese willkürlich veränderlichen Grössen frei verfügt werden kann, bezeichnet man sie auch als „Freiheiten“.

Neben den durch Druck und Temperatur gegebenen Freiheiten bestehen noch andere,

insbesondere die, die sich auf die Zusammensetzung der Phasen beziehen, wenn diese veränderlich sind. Solche in bezug auf ihre Zusammensetzung veränderliche Phasen treten aber gerade bei den Legierungen am häufigsten auf. Die übrigen veränderlichen Grössen, beispielsweise die

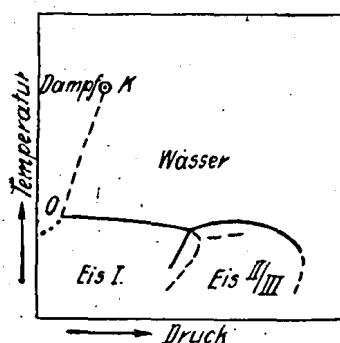


Abb. 1. Zustandsdiagramm des Wassers.

Schwere, Kapillarität sowie osmotische, elektrische und magnetische Kräfte, werden hier nicht herangezogen.

#### Phasengesetz.

Einen sehr grossen Einfluss auf den Gleichgewichtszustand eines Systems übt die Bildung anderer Phasen neben den ursprünglichen aus. Das Gesetz, welches sich aus dem Verhalten eines Gebildes, das mehrere Phasen enthält, ableiten lässt, ist, dass durch das Auftreten einer weiteren Phase eine der vorhandenen Freiheiten verlorengeht. Man muss also die Bedingung, dass eine weitere Phase anwesend sein soll, wie die Verfügung über eine der willkürlich veränderlichen Grössen auffassen, und demgemäss nimmt die Zahl der Freiheiten in gleicher Weise ab, wie die Zahl der Phasen zunimmt. Auf die wissenschaftliche Ableitung des Gesetzes kann hier nicht eingegangen werden. Das Auftreten der Phasen vollzieht sich demnach

nicht ungeordnet, ihre Zahl entspricht vielmehr einem von W. Gibbs aufgestellten Gesetz. Das Gesetz besagt im wesentlichen, dass die Summe der Freiheiten und Phasen

bei Einstoffsystemen = 3,

bei Zweistoffsystemen = 4,

bei Dreistoffsystemen = 5 ist, usf.

oder allgemein gefasst: die Summe der Freiheiten und Phasen ist gleich der Anzahl der Bestandteile + 2:

$$F + P = B + 2 \dots \dots \dots 1)$$

Daraus folgt:

1. Die Anzahl der miteinander im Gleichgewicht stehenden Phasen kann nicht grösser sein als die um 2 vermehrte Zahl der Bestandteile, oder:

$$P_{\max} = B + 2 \dots \dots \dots 2)$$

Die Zahl der Phasen kann aber kleiner sein als  $P_{\max}$ .

2. Der Freiheitsgrad eines Gleichgewichtes ist gleich der Summe der Bestandteile + 2 minus der am Gleichgewicht beteiligten Phasenzahl, oder:

$$F = B + 2 - P$$

$$\text{oder } F = P_{\max} - P \dots \dots \dots 3)$$

Dieses Gesetz bezeichnet man als das Phasengesetz.

Ein weiteres qualitatives Gesetz, das von van't Hoff und Le Chatelier aus dem Verhalten der Phasen bei ihrer Umwandlung abgeleitet wurde, ist in der Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1.

Verschiebung des Gleichgewichtes bei Veränderung von Temperatur und Druck. (Gesetz von van't Hoff und Le Chatelier, gültig für alle Systeme.)

Das Gleichgewicht wird verschoben durch:	nach der Seite desjenigen Systems, das entsteht unter:
Temperaturerhöhung	Wärmeabsorption
Druckerhöhung	Volumenverminderung
Temperaturerniedrigung	Wärmeentbindung
Druckerniedrigung	Volumenvergrösserung

#### Anwendungsbeispiele der Phasenlehre.

##### a) Mehrfachfreies Gleichgewicht.

Die Aggregatzustände eines beliebigen Stoffes können am übersichtlichsten durch ein Diagramm dargestellt werden. Abb. 1 stellt die Zustandsfelder des Wassers dar. Die Krümmung und das Verhältnis der einzelnen Linien zueinander sind sehr übertrieben, um die Erscheinungen deutlicher zu machen. Die Drücke werden durch die Wagerechte, die Temperatur durch die Senkrechte dargestellt. Bei einer einzelnen Phase, beispielsweise im Zustandsfelde des Wassers, können Temperatur und Druck willkürlich geändert werden, ohne dass sich die Phase verändert;

man bezeichnet sie daher als doppeltfrei, als di- oder bivariant.

Bei Wasser ( $P=1$ ) ist die Anzahl der Bestandteile  $B=1$ , mithin nach 2):

$$P_{\max} = B + 2 = 3, \text{ also nach 3):}$$

$$F = P_{\max} - P = 3 - 1 = 2.$$

Das Gleichgewicht ist vom Freiheitsgrad  $F=2$ .

Eine binäre Lösung, beispielsweise Kochsalzlösung, hat drei Freiheitsgrade, wenn keine andere Phase als die Flüssigkeit vorhanden ist, und entsprechend weniger, wenn mehrere Phasen zugegen sind. Bei Kochsalzlösung ( $P=1$ ) ist die Anzahl der Bestandteile  $B=2$ , mithin:

$$P_{\max} = B + 2 = 4 \text{ und } F = P_{\max} - P = 4 - 1 = 3.$$

Das Gleichgewicht ist vom Freiheitsgrad  $F=3$ , dreifachfrei oder trivariant.

Bei einer ternären Lösung ( $P=1$ ) ist die Anzahl der Bestandteile  $B=3$ , mithin:

$$P_{\max} = B + 2 = 5 \text{ und } F = 5 - 1 = 4.$$

Das Gleichgewicht ist vom Freiheitsgrad  $F=4$ , vierfachfrei oder tetravariant, da hier die Konzentration in doppelter Hinsicht veränderlich ist.

Systeme vom Freiheitsgrad  $F > 1$  bezeichnet man auch als mehrfachfrei, pluri- oder multivariant.

Ist  $P = B$  oder  $P < B$ ,

so können sowohl Druck als auch Temperatur, in letzterem Falle auch eine oder mehrere von den die Zusammensetzung der Phasen bestimmenden Grössen, in den vom System abhängigen Grenzen willkürlich gewählt werden.

b) Einfachfreies Gleichgewicht.

Längs der gestrichelten Linie in Abb. 1 kann Wasser neben Wasserdampf bestehen; es ist dies die Dampfspannungskurve des Wassers. Sie endet im kritischen Punkt K (Abb. 1). Umgeht man bei Zustandsänderungen die Dampfspannungskurve, so gelangt man in stetiger Weise aus dem Felde des Dampfes in das der Flüssigkeit. Es gibt also für reine Stoffe ( $B=1$ ) nur eine ganz bestimmte, zwangsläufige Beziehung zwischen Druck und Temperatur, bei welcher Flüssigkeit und Dampf nebeneinander im Gleichgewicht bestehen können, und zwar nehmen beide gleichzeitig zu und ab. Haben wir über eine der Freiheiten verfügt, so steht uns die Wahl der anderen nicht mehr frei, wenn beide Phasen nebeneinander bestehen sollen. Versuchen wir es zwangsweise, so verschwindet eine der Phasen. Zwei Phasen eines reinen Stoffes haben demnach nur eine Freiheit; man bezeichnet sie auch als einfachfrei, mono- oder univariant.

Bei dem System Wasser-Wasserdampf ( $P=2$ ) ist die Anzahl der Bestandteile  $B=1$ , mithin:

$$P_{\max} = B + 2 = 3, \text{ und nach 2):}$$

$$F = P_{\max} - P = 3 - 2 = 1.$$

Das Gleichgewicht ist vom Freiheitsgrad  $F=1$ .

Gleiches Verhalten zeigen auch die Schmelzkurven des Eises. Auch hier können Temperatur und Druck nicht willkürlich geändert werden, sondern es besteht eine bestimmte Beziehung zwischen beiden. Die Schmelzkurve zeigt, dass der Schmelzpunkt des Eises mit zunehmendem Druck mehr und mehr sinkt; nur ist der Einfluss ein viel geringerer. Ganz ähnlich liegen die Verhältnisse bei den verschiedenen Zustandsformen des Eises und bei dem Gleichgewicht Eis-Dampf.

Bei einem Zweistoffsystem, beispielsweise bei einer in bezug auf Eis und Kochsalz übersättigten Lösung ( $P=3$ ), ist die Anzahl der Bestandteile  $B=2$ , mithin:

$$P_{\max} = B + 2 = 4 \text{ und } F = 4 - 3 = 1.$$

Das System ist vom Freiheitsgrad  $F=1$ .

Ist  $P = B + 1$ ,

so kann bei gegebener Zusammensetzung des Systems nur eine der beiden willkürlich veränderlichen Grössen Druck und Temperatur gewählt werden, die andere ist dann eine völlig bestimmte Funktion der ersteren.

c) Unfreies Gleichgewicht.

Der Punkt 0 in Abb. 1 entspricht der Temperatur  $0,007^\circ$  und dem Druck 4,6 mm. Unter diesen Bedingungen können Eis, Wasser und Wasserdampf im Gleichgewicht nebeneinander bestehen. Dieser Punkt wird der dreifache Punkt (Tripelpunkt) genannt.

Bei Wasser ( $P=3$ ) ist die Anzahl der Bestandteile  $B=1$ , mithin:

$$P_{\max} = B + 2 = 3 \text{ und } P_{\max} - P = F = 0.$$

Das Gleichgewicht ist vom Freiheitsgrad  $F=0$ . Man bezeichnet das Gleichgewicht als unfrei, als non- oder invariant.

Bei einer in bezug auf Eis, Kochsalz und Dampf übersättigten Lösung ( $P=4$ ) ist die Anzahl der Bestandteile  $B=2$ , mithin:

$$P_{\max} = B + 2 = 4 \text{ und } F = P_{\max} - P = 4 - 4 = 0.$$

Das Gleichgewicht ist vom Freiheitsgrad  $F=0$ .

Bei einer in bezug auf Eis, Kochsalz, Soda und Dampf übersättigten Lösung ( $P=5$ ) ist die Anzahl der Bestandteile  $B=3$ , mithin:

$$P_{\max} = B + 2 = 5 \text{ und } F = P_{\max} - P = 5 - 5 = 0.$$

Ist  $P = B + 2$ ,

so kann über irgendeine Freiheit nicht mehr verfügt werden.

Kondensierte Systeme.

Eine ganz besondere Stellung in der Phasenlehre nehmen wegen ihrer geringen

Empfindlichkeit gegenüber Druckänderungen die Systeme ein, bei denen alle Umwandlungsvorgänge unterhalb der Siedezone stattfinden. *van't Hoff* gab ihnen den besonderen Namen kondensierte Systeme. Sie nehmen in der Tat eine Sonderstellung ein, da es bei ihnen praktisch kaum in Betracht kommt, ob der Druck, unter dem sie stehen, mehr oder weniger vom Atmosphärendruck abweicht. Der Druck kommt somit unter den willkürlich Veränderlichen dieser Systeme nicht in Betracht, da er als konstant angenommen werden darf. Da andererseits aus der Zahl

der möglichen Phasen die Gasphase ausscheidet, so lautet das Phasengesetz für diesen Fall:

$$F + P = B + 1.$$

Im folgenden werden wir uns mit Ausnahme einiger Sonderfälle mit kondensierten Systemen beschäftigen.

#### Uebersicht der Gleichgewichte.

In der Tabelle 2 sind die Gleichgewichtsverhältnisse der Ein-, Zwei- und Dreistoffsysteme dargestellt. Die kondensierten Systeme sind durch Fettdruck hervorgehoben. (Fortsetzung folgt.)

Tabelle 2.

Zahlenbeziehungen zwischen den vorhandenen Bestandteilen, den Phasen und den möglichen Freiheiten.

Kondensiert-gasförmige Systeme (leicht vergasbare Systeme)				Kondensierte Systeme (schwer vergasbare Systeme; dazu gehören fast alle in der Metallographie behandelten Systeme von Metallen und Legierungen).			
Das Gleichgewicht zwischen mehreren Phasen ist festgelegt:				Das Gleichgewicht zwischen mehreren ist festgelegt:			
a) durch den Druck $p$ , b) durch die Temperatur $t$ , c) durch die Phasenzusammensetzung $c$ (Gehalte $c_a, c_b, c_c$ an den Stoffen A, B, C).				a) durch die Temperatur $t$ , b) durch die Phasenzusammensetzung $c$ (Gehalte $c_a, c_b, c_c$ an den Stoffen A, B, C).			
Bestandteile		1 2 3	$(F + P = B + 2)$	Bestandteile		1 2 3	$(F + P = B + 1)$
$P_{\max}$ $F_{\max}$		3 4 5 2 3 4		$P_{\max}$ $F_{\max}$		2 3 4 1 2 3	
Freiheitsgrad	Veränderliche	Phasenzahl	Synonyma	Freiheitsgrad	Veränderliche	Phasenzahl	Synonyma
$F=0$	keine	3 4 5	Unfreies, nonvariantes, invariantes oder absolutes Gleichgewicht. Dreifacher Punkt.	$F=0$	keine	2 3 4	Unfreies, nonvariantes, invariantes oder absolutes Gleichgewicht. Dreifacher Punkt.
$F=1$	$t$ oder $p$ oder $c$	2 3 4	Einfachfreies, monovariantes, univariantes oder vollständiges heterogenes Gleichgewicht. Nackte Reaktion.	$F=1$	$t$ oder $c$	1 2 3	Einfachfreies, nonvariantes, univariantes oder unvollständiges heterogenes Gleichgewicht. Nackte Reaktion. (Bei nur einer Phase unvollständiges homogenes Gleichgewicht.)
$F=2$	$t, p$ oder $t, c$ oder $c, p$	1 2 3	Zweifachfreies, divariantes, bivariantes oder unvollständiges heterogenes Gleichgewicht. (Bei nur einer Phase unvollständiges homogenes Gleichgewicht.)	$F=2$	$t$ $c$	- 1 2	Zweifachfreies, divariantes, bivariantes oder unvollständiges heterogenes Gleichgewicht. (Bei nur einer Phase unvollständiges homogenes Gleichgewicht.)
$F=3$	$t$ $p$ $c$	- 1 2	Dreifachfreies, trivariantes oder unvollständiges heterogenes Gleichgewicht. (Bei nur einer Phase unvollständiges homogenes Gleichgewicht.)	$F=3$	$t$ $c_a$ $c_b$	- - 1	Dreifachfreies, trivariantes oder unvollständiges homogenes Gleichgewicht.
$F=4$	$t$ $p$ $c_a$ $c_b$	- - 1	Vierfachfreies, tetravariantes oder unvollständiges homogenes Gleichgewicht.	—	—	—	—

## Die Gefügelehre der Metalle und Legierungen.

Von J. Czochralski in Berlin.

(Fortsetzung von S. 100.)

### Hauptarten der Erstarrungsdiagramme binärer Legierungen.

#### Abkühlungskurven.

Wenn eine Metallschmelze erstarrt, so scheiden sich nicht nur feste Bestandteile aus ihr aus, sondern es findet neben Aenderung des Volumens auch eine sehr bedeutende Wärmeabgabe statt. Umgekehrt wird bei der Verflüssigung eines erstarrten Metalls eine gleich grosse Wärme-

menge aufgenommen. Demnach kann die Wärmearbeit sowohl positiv wie negativ sein: positiv beim Erstarren, negativ beim Verflüssigen.

Bei derartigen Umwandlungen können wir zwei Fälle unterscheiden, deren Kennzeichnung von grosser Wichtigkeit ist. Entweder geht die ganze Umwandlung bei einem bestimmten Temperaturpunkt vor sich, oder sie verläuft innerhalb eines mehr oder

weniger grossen Temperaturgebietes. Im ersten Falle haben wir es in der Regel mit einem reinen Metall, im zweiten mit einer metallischen Lösung zu tun.

#### a) Abkühlungskurven reiner Stoffe.

Die bildliche Darstellung des Verlaufes der Erstarrungskurve eines willkürlich gewählten reinen Metalls ist in der Abb. 2 gegeben. Die Grundlinie gibt die Zeit, die Höhe die Temperatur an.

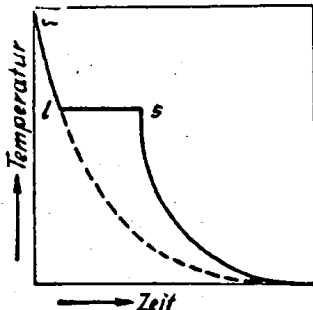


Abb. 2. Erstarrungskurve reiner Metalle.

Bei der Erstarrungstemperatur erhalten wir einen scharf ausgeprägten Knickpunkt, da die Temperatur eine gewisse Zeit hindurch

infolge der frei werdenden Kristallisationswärme unverändert bleibt.

Die dem Newtonschen Gesetz entsprechende Abkühlungskurve *al* geht daher bei der Erstarrungstemperatur unvermittelt in eine der Zeitachse parallele Gerade *ls* und aus dieser ebenso unvermittelt wieder in die dem obigen Gesetz entsprechende Gestalt über. Der Wert *ls* ist abhängig von der Kristallisationswärme und von der Versuchsmenge des betreffenden Metalls. Das Gebiet der unveränderten Temperatur wird als Haltepunkt, ihre Dauer als Haltezeit bezeichnet.

Die gestrichelte Linie zeigt den Verlauf der Abkühlung, wie sie dem Newtonschen Gesetz gemäss mit abnehmender Geschwindigkeit vom Punkt *l* fortschreiten würde, wenn keine Ausscheidung fester Bestandteile erfolgte.

#### b) Abkühlungskurven von Lösungen.

Den Verlauf der Erstarrung einer metallischen Lösung veranschaulicht die Abb. 3. Die Erstarrung erfolgt hier, wie erwähnt, innerhalb eines bestimmten Temperaturgebietes;

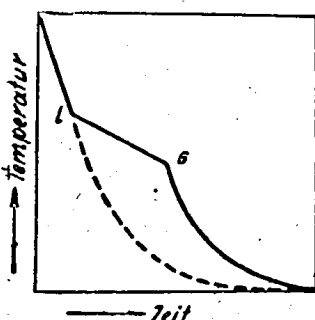


Abb. 3. Erstarrungskurve metallischer Lösungen.

die im flüssigen Zustande bestehende gegenseitige Löslichkeit zweier Stoffe bleibt auch im festen Zustande unverändert bestehen.

Die Temperatur der beginnenden Erstarrung ist durch einen Knick bei *l* gekennzeichnet, von dem aus die Temperatur längs des Kurvenstückes *ls* abfällt. Das Ende der Erstarrung wird durch einen zweiten Knick bei *s* angezeigt.

Betreffs der Darstellung und der übrigen Vorgänge gilt hier alles über Abb. 2 Gesagte.

#### Schaubilder.

Die Vorgänge, die sich beim Erstarren verschieden zusammengesetzter Lösungen derselben Stoffe abspielen, lassen sich nun am übersichtlichsten durch ein Erstarrungsdiagramm bildlich veranschaulichen. Werden die Haltepunkte einzelner Stichkonzentrationen in ein rechtwinkliges Koordinatensystem eingetragen und durch kontinuierliche Linienzüge verbunden, so erhält man Schaubilder, die sich in einige wenige Hauptarten einteilen lassen.

#### Fall unbegrenzter Löslichkeit.

##### Feste Lösungen.

Abb. 4 veranschaulicht das Erstarrungsdiagramm einer festen Lösung. Die Grundlinie gibt die Zusammensetzung in Gewichtsprozenten, die Höhe die Temperatur an.

Oberhalb der Linie *l* ist alles flüssig, unterhalb der Linie *s* ist alles fest, während jeder Punkt in dem getönten linsenförmigen Zustandsfeld ein bestimmtes Gemenge aus Schmelze und Kristallen darstellt. Für alle nachstehend beschriebenen Erstarrungsdiagramme gilt das nämliche.

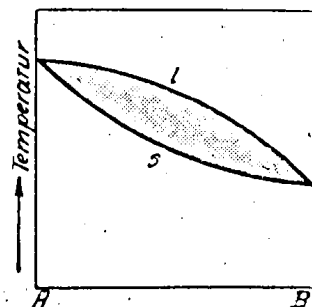


Abb. 4. Erstarrungsdiagramm einer metallischen Lösung. (Typus I nach Roozeboom).

Die metallischen Lösungen unterscheiden sich demnach von den reinen Metallen dadurch, dass sie einen veränderlichen Schmelzpunkt besitzen. Der Schmelzpunkt kann sich natürlich nur dadurch ändern, dass während der Erstarrung sich sowohl der Zusammensetzung der Schmelze als auch die

festen Bestandteile fortwährend verändert. Nach beendeter Erstarrung ist die Zusammensetzung der nunmehr festen Lösung wieder einheitlich. Die Zusammensetzung ändert sich also nur vorübergehend. In welchem Sinne sich die Zusammensetzung beim Verflüssigen oder beim Erstarren ändert, kann man aus der Betrachtung des Verlaufs der Erstarrungskurve voraussagen, nämlich: in der Richtung des höheren Schmelzpunktes beim Schmelzen und in der Richtung des niederen Schmelzpunktes beim Erstarren.

Kennt man beide Linien (*l* und *s*), so ergibt sich umgekehrt aus dieser Konstruktion die Zusammensetzung aller im Gleichgewicht befindlichen flüssigen und festen Phasen, indem man Horizontale durch die Doppellinie

legt. Die beiden Durchschnittspunkte einer solchen Horizontale ergeben die beiden Zusammensetzungen für die betr. Temperatur.

In dem automatischen<sup>1)</sup> Diagramm Abb. 5 ist die Abhängigkeit der Zusammensetzung beider Phasen von der Temperatur dargestellt.

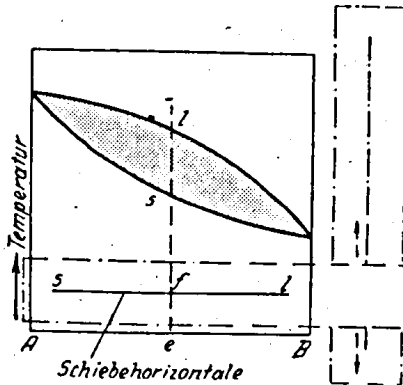


Abb. 5. Temperaturdiagramm.

Beginn und Ende der Erstarrung sind durch die beiden zugehörigen Temperaturpunkte der betr. Konzentration gegeben.

Durch Aufwärtsbewegen der Anlegehorizontale wird die vorübergehende Aenderung der Zusammensetzung beider Phasen für ansteigende Temperatur, durch Abwärtsbewegen die Aenderung für sinkende Temperatur angezeigt. Der Durchschnittspunkt mit der oberen Kurve gibt die Zusammensetzung der flüssigen Phase, der Durchschnittspunkt mit der unteren Kurve die Zusammensetzung der festen Phase. Das Gefüge der Legierung besteht nach der Erstarrung nur aus einer in allen Teilen homogenen Kristallart (Mischkristallen).

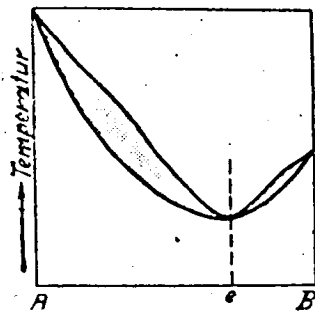


Abb. 6. Erstarrungsdiagramm einer metallischen Lösung mit einem Minimum.  
(Typus III nach Roozeboom.)

Die Mengenverhältnisse zwischen Schmelze und Kristallen innerhalb des Zweiphasengebietes sind ferner aus der Diagrammkonstruktion ohne weiteres ersichtlich.

Verbindet man nämlich die beiden Temperaturpunkte durch eine senkrechte, beispielsweise für die Konzentration über dem Punkte  $e$ , so wird die Schiebehorizontale durch sie zerlegt, und zwar gibt das Verhältnis  $fs:fl$  der Linie unmittelbar das Verhältnis der beiden Mengen an. Der Hebelarm  $fs$  entspricht der Menge der festen

Phase, der Hebelarm  $fl$  der Menge der flüssigen.

Diese Beziehung ist von Ruer erkannt und von ihm „Hebelbeziehung“ benannt worden.

Es kann auch vorkommen, dass beide Linien eine nach abwärts verlaufende Krümmung aufweisen (vgl. Abb. 6). Man sagt dann, die Erstarrungskurve hat ein Minimum.

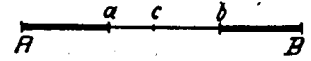


Abb. 7.

Dieser Fall tritt ein, wenn die Schmelzpunkte der reinen Metalle durch Legieren erniedrigt werden. Die Erstarrungsbedingungen sind bis auf die Legierung, die der Zusammensetzung  $e$  entspricht, die gleichen wie in dem vorbehandelten Fall. Nur die ausgezeichnete Legierung schmilzt und erstarrt wie die reinen Stoffe bei einem bestimmten Temperaturpunkt. Das Vorhandensein eines solchen ausgezeichneten Wertes führt oft zu besonderen Eigentümlichkeiten der zugehörigen Legierungen.

Ein Beispiel dafür, dass beide Linien eine Krümmung nach der entgegengesetzten Seite aufweisen (Typus II nach Roozeboom), also ein Maximum haben, ist bei Metalllegierungen nicht bekannt.

In den vorbehandelten Beispielen hatten wir den Fall unbegrenzter Löslichkeit vor uns.

Wir betrachten nun den Fall, dass zwei Metalle im festen Zustand sich nur begrenzt lösen.

Fall begrenzter Löslichkeit im festen Zustande.

a) Legierungen mit einer Umwandlungshorizontale.

Wir gehen von den reinen Metallen A und B aus. Ein Zusatz von dem Bestandteil B wird von A zunächst gelöst, über einen bestimmten Betrag hinaus dagegen nicht mehr. Das gleiche gilt auch für den Bestandteil B, falls man ihm mehr und mehr von A hinzufügt. Zeichnet man (nach Ostwald) die

Zusammensetzung der Lösungen auf eine Horizontale (Abb. 7), so wird es neben A einen Punkt  $a$  geben, welcher den grössten Anteil von B ausdrückt, der in A aufgelöst werden kann. Das gleiche gilt für den Stoff B mit dem Sättigungspunkte  $b$ ; die

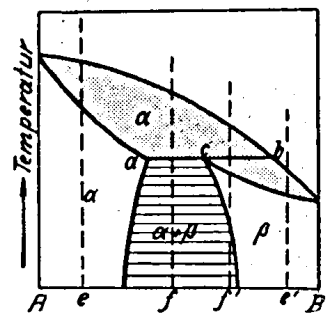


Abb. 8. Erstarrungsdiagramm einer Legierung mit einer Umwandlungshorizontale.  
(Typus IV nach Roozeboom.)

<sup>1)</sup> Aus drucktechnischen Gründen musste auf die Wiedergabe des automatischen Diagramms verzichtet werden; in der Abbildung wird daher die Schiebehorizontale nur schematisch angedeutet.

Sättigungsgrenzen hängen natürlich von der Natur der betreffenden beiden Stoffe ab. Alle zwischen diesen Punkten ( $a$  und  $b$ ) liegenden Zusammensetzungen kommen als feste Lösungen nicht vor. Bringt man beide Bestandteile in einem Verhältnis zusammen, welches innerhalb der Strecke  $Aa$  liegt, so entsteht beim Erstarren eine gleichteilige Lösung, die vorherrschend viel  $A$  enthält, und innerhalb des Gebietes  $bB$  eine mit vorherrschendem  $B$ -Gehalt. Wenn man nun beide Bestandteile in einem zwischenliegenden Verhältnis  $c$  zusammenbringt, so entstehen, da sich ja eine feste Lösung nicht bilden kann, deren zwei, nämlich die feste Lösung  $a$  und die feste Lösung  $b$ . Je nachdem das Verhältnis der beiden Stoffe  $A$  und  $B$  näher an  $a$  oder  $b$  liegt, so wird sich mehr von der entsprechenden gesättigten Lösung bilden, und zwar gibt das Verhältnis  $ca:cb$  der Linie unmittelbar das Verhältnis der beiden Mengen an.

Die Sättigungsgrenze beider Bestandteile verschiebt sich nun allgemein mit der Temperatur. In dem Diagramm Abb. 8 ist diese Abhängigkeit dargestellt. Die Erstarrungsvorgänge sind in bezug auf Aenderung der Zusammensetzung der flüssigen Schmelze und der ausgeschiedenen Mischkristalle sowie ihres Mengenverhältnisses die gleichen, wie bei Abb. 4 erläutert.

Betrachtet man die Legierungen von der Zusammensetzung über dem Punkte  $e$ , so scheiden sich beim Beginn der Erstarrung unter vorübergehender Aenderung der Zusammensetzung Mischkristalle  $\alpha$  aus, während beim Erstarren der Legierung von der Zusammensetzung über dem Punkte  $e'$  Mischkristalle  $\beta$  zur Ausscheidung gelangen.

Besondere Erscheinungen treten ein bei den Legierungen von der Zusammensetzung über den Punkten  $f$  und  $f'$ , bzw. bei allen Legierungen zwischen den Punkten  $a$  und  $b$ , bei denen die die Legierung darstellenden Vertikalen die Umwandlungshorizontale  $acb$  schneiden; sie zeigen wieder eine Verzögerung beim Erstarren und ausserdem noch einen Haltepunkt beim Passieren der Umwandlungshorizontalen. Beide Legierungen beginnen unter Ausscheidung von Mischkristallen  $\alpha$  und Aenderung der Zusammensetzung von Schmelze und Kristallen zu erstarren, so dass beim Berühren der Horizontale die Legierung aus den Mischkristallen  $\alpha$  von der Zusammensetzung  $a$  und der Schmelze von der Zusammensetzung  $b$  besteht. Ihre Mengen ergeben sich aus der auf S. 117 mitgeteilten Hebelbeziehung.

Auf der Horizontalen  $b$  vollzieht sich eine Umwandlung bei gleichbleibender Tem-

peratur. Es können nun zwei Fälle eintreten:

#### 1. Fall $f$ :

Die Restschmelze wandelt sich in Berührung mit dem festen Anteil  $\alpha$  zu einem Gemenge der beiden festen Mischkristalle  $\alpha$  und  $\beta$  um; Punkt  $a$  entspricht der Zusammensetzung der  $\alpha$ -Kristalle, Punkt  $b$  der Zusammensetzung der  $\beta$ -Kristalle.

Die Umwandlung drückt man aus durch die Schreibweise:

$$\text{Schmelze} + \alpha = \alpha + \beta.$$

Die Restschmelze wird hierbei verbraucht, die Legierung ist völlig erstarrt.

Bei noch weiterer Abkühlung ändert sich nun auch die Zusammensetzung der festen Mischkristalle. Die Zusammensetzung der beiden Kristallarten bei den einzelnen Temperaturen entspricht den Enden der einzelnen Schraffierungslinien.

#### 2. Fall $f'$ :

Die bereits ausgeschiedenen  $A$ -reichen Mischkristalle  $\alpha$  verschwinden, indem sie sich in Berührung mit der Schmelze in ein Gemenge der  $B$ -reichen Mischkristalle  $\beta$  von der Zusammensetzung  $c$  und der Schmelze von der Zusammensetzung  $b$  umwandeln.

Auch hier kann man die Umwandlung ausdrücken durch die symbolische Schreibweise:

$$\text{Schmelze} + \alpha = \text{Schmelze} + \beta.$$

Nach dem Erreichen des zweiten Temperaturpunktes ist auch der letzte Rest der Schmelze zu den gleichartigen Kristallen  $\beta$ , deren Zusammensetzung dem Punkte  $f$  entspricht, erstarrt.

Nach dem Passieren des Homogenfeldes zerfällt die Legierung beim weiteren Abkühlen in ein Gemenge der jetzt bestehenden beiden Kristallarten  $\alpha$  und  $\beta$ . Ihre Zusammensetzung bei den einzelnen Temperaturen entspricht wie bei  $f$  den Enden der einzelnen Schraffierungslinien. Das Gefüge besteht aus einem Gemenge zweier Kristallarten.

Diesen Typus von Legierungen bezeichnet man wegen der Eigentümlichkeit, umhüllte Kristalle zu bilden, auch als Legierungen mit einem Peritektikum. (Schluss folgt.)

## Wirtschaftliches

### Grossbritanniens Aussenhandel in Eisen und Stahl im ersten Halbjahr 1915.

Uns sind die Zahlen bekannt geworden, welche das englische Handelsamt über den Aussenhandel Grossbritanniens in der ersten Hälfte des letztvergangenen Jahres veröffentlicht hat. Dieses Zahlenmaterial ist



## Die Gefügelehre der Metalle und Legierungen.

Von J. Czochralski in Berlin.

(Schluss von S. 118.)

- b) Legierungen mit einer eutektischen Geraden.

**E**ine zweite Art von metallischen Stoffen, welches sich im festen Zustand nur begrenzt lösen, sind die Legierungen mit einem Eutektikum. In diesen Fällen gibt es eine

Schmelze, die wie die reinen Stoffe bei gleichbleibender Temperatur erstarrt; doch besteht sie nach dem Erstarren nicht aus einem, sondern aus zwei Gefügebestandteilen. Der ausgezeichnete Punkt wird eutektischer Punkt genannt, die ausgezeichnete Legierung

eutektische Legierung oder Eutektikum. Gleichzeitig erkennt man (Abb. 9), dass die Temperatur die niedrigste ist, bei der Schmelze neben festen Bestandteilen bestehen kann; daher die Bezeichnung „Eutektikum“ (gut fließend).

Betrachtet man zunächst Legierungen, die im festen Zustand homogen sind (exeutektische Legierungen), so scheiden sich beim Erstarren

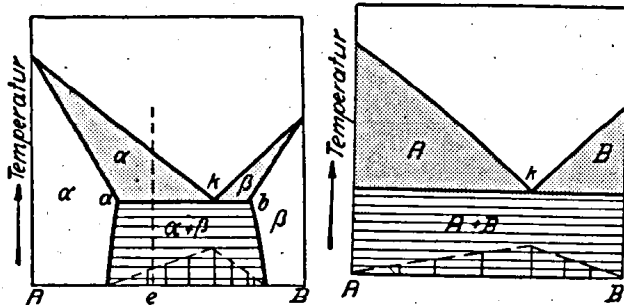


Abb. 9 und 10. Erstarrungsdiagramm einer Legierung mit einer eutektischen Geraden.

Abb. 9. (Typus V nach Roozeboom). Abb. 10. (Typus Va nach Roozeboom).

unter vorübergehender Änderung der Zusammensetzung von Schmelze und Kristallen die zugehörigen Mischkristalle aus, und zwar  $\alpha$ -Kristalle in der Nähe von A und  $\beta$ -Kristalle in der Nähe von B. Im übrigen vollziehen sich die Erstarrungsvorgänge genau so, wie bei Besprechung des Diagramms Abb. 4 ausführlich erläutert.

Besondere Erscheinungen treten nur auf bei allen Legierungen von zwischenliegender Zusammensetzung (eutektomeren Legierungen).

Es werde zunächst die eutektische Legierung (k) betrachtet. Hier ist die Schmelze für beide Bestandteile gesättigt, sie erstarrt bei der weiteren Abkühlung unter wechselweiser Ausscheidung beider Bestandteile bei gleichbleibender Temperatur zu einem Gemenge der Kristallarten  $\alpha$  und  $\beta$ ; die Zusammensetzung von Schmelze und Kristallen bleibt dabei unverändert. Die erstarrte Legierung besteht in der Regel aus sehr innig und gleichmässig verteilten Kristallen. Die Kristalle sind nicht etwa die reinen Metalle A und B, sondern die gesättigten festen Lösungen von der Zusammensetzung a und b, deren Mengenverhältnis durch das Verhältnis  $a:k:b$  gegeben ist.

Nur die Legierung mit dem ausgezeichneten Punkt erstarrt bei gleichbleibender Temperatur, dagegen zeigen die Legierungen zu beiden Seiten des ausgezeichneten Punktes eine Verzögerung beim Erstarren und einen Haltepunkt beim Ueberschreiten der eutektischen Geraden. Die Verzögerung deutet die Ausscheidung eines Bestandteils an, während die Haltepunkte das eutektische Erstarren anzeigen.

Die Legierung von der Zusammensetzung über dem Punkt e beginnt unter der Ausscheidung von Mischkristallen zu erstarren, so dass beim Berühren der eutektischen Geraden die Legierung aus Mischkristallen von der Zusammensetzung a und aus der Schmelze von der Zusammensetzung k besteht. Hier ist die Restschmelze für beide Bestandteile gesättigt und erstarrt wie die eutektische Legierung. Die Schmelze lässt nach dem Erstarren innerhalb des eutektischen Gemenges primär ausgeschiedene Mischkristalle erkennen; ihre Menge wächst mit der Entfernung von der eutektischen Konzentration. Aus der Dauer der Haltezeiten beim Ueberschreiten der eutektischen Geraden kann man die Zusammensetzung des Eutektikums genau und die Punkte, bis zu welchen homogene Mischkristalle in dem zu untersuchenden System auftreten, annähernd genau bestimmen; dabei muss für jede Abkühlungskurve dieselbe Gesamtmenge der Legierung zugrunde gelegt werden. Bei den Legierungen, deren Zusammensetzung den Punkten a und b entspricht, sind die Haltezeiten bei der eutektischen Temperatur gerade Null und haben in dem ausgezeichneten Punkt k ihren grössten Wert. Graphisch stellt man dies dar, indem man die so erhaltenen Werte als Senkrechte zur Konzentrationsachse oder der eutektischen Geraden aufträgt (Abb. 9) und die Endpunkte durch Gerade verbindet.

Ebenso wie die Schmelze e erstarren alle Schmelzen zwischen a und k unter Ausscheidung von Mischkristallen  $\alpha$  und alle Schmelzen zwischen k und b unter Aus-

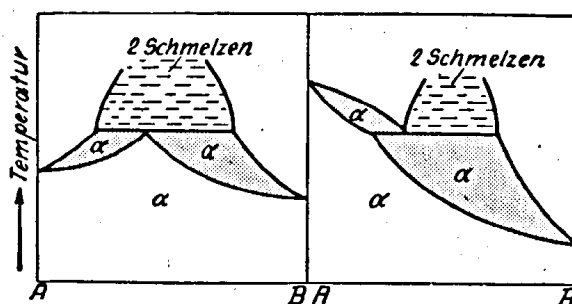


Abb. 11 und 12.

Syntektikum.

Monotektikum.

scheidung von Mischkristallen  $\beta$  innerhalb eines mehr oder weniger grossen Temperaturgebietes.

Je nach dem Mengenverhältnis beider Bestandteile der eutektomeren Legierungen spricht man von einer eutektischen bzw. von einer in Hinsicht auf Bestandteil A oder B unter- (hypo-) oder über- (hyper-) eutektischen Legierung.

Bei den Legierungen mit einer eutektischen Geraden können im Grenzfall die festen Phasen auch die reinen Metalle selbst sein. Abb. 10 veranschaulicht diesen Legierungstypus (Typus Va nach Roozeboom). Praktisch muss aber stets eine wenn auch noch so geringe Löslichkeit vorausgesetzt werden. Die Einordnung dieses übrigens recht häufigen Sonderfalls an dieser Stelle rechtfertigt sich demnach.

c) Unterteilung der Legierungen mit einer Umwandlungshorizontalen und eutektischen Geraden.

Von den beiden vorbeschriebenen Hauptarten der Erstarrungsdiagramme mit einer peritektischen und eutektischen Geraden, die in Abb. 8 und 9 dargestellt worden sind, gibt Guertler die in Tabelle 3 wiedergegebene schematische Unterteilung. In ihr finden sich für die beteiligten Phasen ( $P = 3$ ) die Bezeichnungen

kristallinisch = krist.

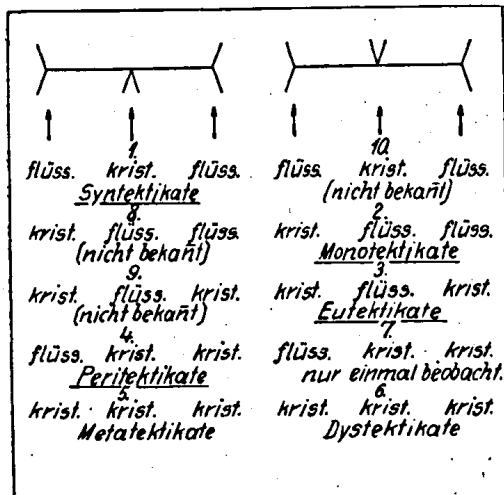
flüssig = flüss.

entsprechend den möglichen Fällen angegeben.

In den Abb. 11 bis 14 sind die Fälle 1, 2, 5 und 6 entsprechend ihrer Wichtigkeit besonders dargestellt worden.

In den Fällen 1 (Syntektikum) und 2 (Monotektikum) beteiligen sich an dem Gleich-

Tabelle 3.



Unterteilung der Legierungen mit einer Umwandlungshorizontalen und eutektischen Geraden. (Nach Guertler.)

gewicht zwei flüssige und eine kristallisierte Phase. Diese treten also nur auf, wenn die Schmelze bei den Kristallisationstemperaturen des Systems in zwei Flüssigkeiten entmischt ist (in Abb. 11 und 12 durch unterbrochene Horizontalschraffierung angedeutet).

In den anfangs besprochenen Fällen 3 und 4 beteiligt sich nur eine Flüssigkeit neben zwei Kristallarten an dem Gleich-

gewicht. Sie treten nur auf, wenn die kristallisierten Legierungen eine Mischungslücke im kristallisierten Zustande aufweisen (Abb. 8 und 9).

Die Fälle 5 und 6 beziehen sich auf Umsetzungen innerhalb des völlig kristallisierten Zustandes, welche durch Umwandlung (siehe S. 134) der reinen Komponenten (selbst Polymorphie) und durch das Auftreten und Ver-

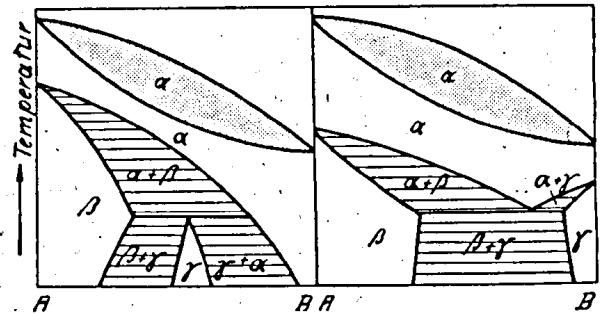


Abb. 13 und 14.

Metatektikum.

Dystektikum.

schwinden neuer Phasen verursacht werden können (Abb. 13 und 14).

Der Fall 7 ist nur einmal beobachtet worden.

Die Fälle 8, 9 und 10 sind nicht bekannt.

d) Legierungen mit einer chemischen Verbindung.

Eine weitere Art von metallischen Stoffen, welche sich im festen Zustand nur begrenzt lösen, sind die Legierungen mit einer Verbindung. Sie sind gekennzeichnet durch ein Schmelzpunktmaximum oder durch das Auftreten eines Knickes in der Schmelzkurve (verdecktes Maximum). Wir beschränken uns nur auf die Behandlung von Fall 1.

Teilt man das Diagramm Abb. 15 durch eine Senkrechte durch das Maximum hindurch in zwei Teile, so haben wir zwei Systeme vor uns, von denen jedes für sich nach einem anderen Typus erstarrt. Zwischen den beiden Systemen können alle vorbehandelten Erstarrungstypen auftreten, nur mit dem Unterschiede, dass jetzt die gemeinsame Komponente beider Systeme eine chemische Verbindung ( $A_m B_n$ ) ist. In Abb. 15 ist eine Kombination des Erstarrungstypus V und Va nach Roozeboom dargestellt.

e) Legierungen mit einfachen Geraden.

Wir betrachten nun den Fall, dass zwei Metalle sich auch im flüssigen Zustand nur begrenzt lösen.

Abb. 16 stellt das Erstarrungsdiagramm einer Legierung dar, bei der die beiden Bestandteile im flüssigen Zustande bei der Erstarrungstemperatur der höher schmelzenden Komponente praktisch überhaupt nicht ineinander löslich sind (etwa wie Oel und

Wasser), obwohl weit oberhalb dieser Temperatur geringe Löslichkeit besteht. Beim Abkühlen einer Legierung von der Zusammensetzung über dem Punkte  $e$  beginnt beim Erreichen der Löslichkeitskurve eine

Ein Grenzfall völliger Unlöslichkeit im flüssigen Zustande ist hier noch viel weniger wahrscheinlich als beim Typus *Va* in festem Zustande. In Abb. 17 ist dieser hypothetische Fall dargestellt.

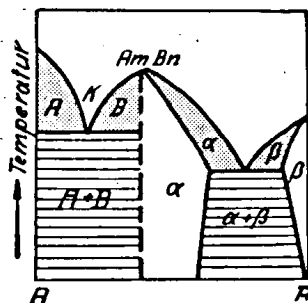


Abb. 15. Erstarrungsdiagramm einer Legierung mit einer chemischen Verbindung.

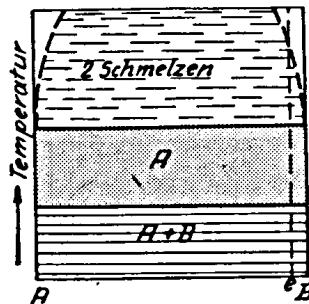


Abb. 16. Erstarrungsdiagramm mit einfachen Geraden.

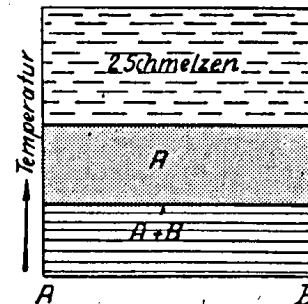


Abb. 17. Erstarrungsdiagramm mit einfachen Geraden.

Trennung der Schmelze in zwei Lösungen. Die Zusammensetzung beider Schmelzen bei den einzelnen Temperaturen entspricht den Enden der einzelnen unterbrochenen Horizontallinien. Beim Erreichen der Erstarrungstemperatur der höher schmelzenden Komponente A gelangt bei Legierungen beliebiger Zusammensetzungen zunächst die ganze Menge der höher schmelzenden Komponente zur Ausscheidung, worauf dann die Temperatur bis zum Schmelzpunkt der anderen Komponente sinkt und auch diese erstarrt.

Oberhalb des getönten Feldes besteht die Legierung aus zwei und jenseits der gestrichelten Löslichkeitskurve aus einer Schmelze; unterhalb des getönten Feldes ist alles fest, während jeder Punkt in dem getönten Zustandsfeld ein bestimmtes Gemenge aus Schmelze und Kristallen der reinen Metalle darstellt.

Die Abkühlungskurven sämtlicher Schmelzen weisen bei der Trennung der Schmelze in zwei Lösungen<sup>1)</sup> Verzögerungen

### Polymorphe Umwandlungen.

Auch in bereits erstarrten Systemen sind Umwandlungen möglich, sei es durch Polymorphie, d. i. durch die Fähigkeit vieler Stoffe, in verschiedenen Kristallformen aufzutreten, sei es infolge chemischer Prozesse.

Treten beide Bestandteile in mehreren Kristallformen auf, die untereinander unbegrenzt löslich sind, so lassen sich die für die Erstarrungsvorgänge gefundenen Resultate ohne weiteres auch auf diese Umwandlungen übertragen. Abb. 18 veranschaulicht eine stetige vom niedrigsten zum höchsten Umwandlungspunkt fortwährend ansteigende Umwandlungskurve. Wie dort die Erstarrung (Abb. 4 bis 6), so erstreckt sich auch hier die Umwandlung der Legierung über ein bestimmtes Temperaturgebiet, innerhalb dessen die Zusammensetzung beider Kristallarten eine vorübergehende Änderung erfährt.

Tritt nur einer der beiden Bestandteile in mehreren Kristallformen auf, so muss bei

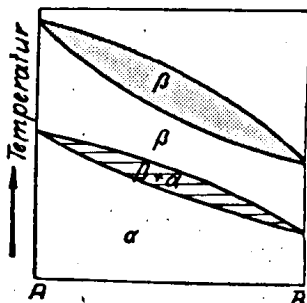


Abb. 18. Erstarrungsdiagramm einer metallischen Lösung mit zwei polymorphen Komponenten.

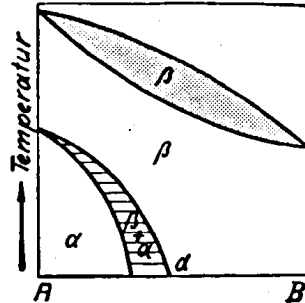


Abb. 19. Erstarrungsdiagramm einer metallischen Lösung mit einer polymorphen Komponente.

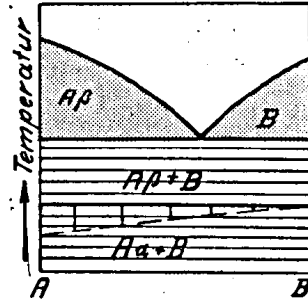


Abb. 20. Erstarrungsdiagramm mit einer eutektischen Geraden und einer polymorphen Komponente.

und bei den Erstarrungstemperaturen der reinen Metalle Haltepunkte auf.

<sup>1)</sup> In der Abbildung nur für einige Stichkonzentrationen dargestellt.

Voraussetzung unbegrenzter Löslichkeit auch die andere Komponente in mehreren Kristallformen auftreten können. Diese Formen sind dann notwendigerweise unbeständig

(metastabil). Der Zusammenhang der verschiedenen Formen wird durch das Diagramm Abb. 19 ausgedrückt. Eine Umwandlung der nicht polymorphen Komponente findet nur bis zu einem gewissen niedrigsten *A*-Gehalt (Punkt *d*) statt. Unterhalb dieser Grenze ist die  $\alpha$ -Form der *A*-Kristalle nicht imstande, die gleiche Kristallform auch bei den *B*-Kristallen aufrechtzuerhalten.

Sind beide Bestandteile im festen Zustand ineinander völlig unlöslich, so scheidet sich

je nach ihrer Zusammensetzung die eine oder die andere Komponente in reinem Zustande aus, und wenn eine derselben, etwa *A*, bei unterhalb der eutektischen Horizontalen gelegener Temperatur aus einer  $\beta$ -Form in eine  $\alpha$ -Form übergeht, so erfolgt die ganze Umwandlung bei gleichbleibender Temperatur. Die Dauer der Haltezeiten hängt lediglich von dem *A*-Gehalt der Legierung ab; sie nimmt, wie Abb. 20 veranschaulicht, vom Maximum für reines *A* bis zum Nullwert für reines *B* linear ab.