

I. Allgemeines über Metalle und Legierungen.

1. Reine Metalle finden in der Technik, besonders im Maschinenbau, verhältnismäßig wenig Verwendung, weil ihre Festigkeit für die Zwecke des Konstrukteurs zumeist nicht ausreicht. Man sucht deswegen durch Zusammenschmelzen von zwei und mehreren Metallen neue metallische Rohstoffe mit Eigenschaften zu erzielen, die dem Gebrauchszweck besser angepaßt sind. Diese Rohstoffe bezeichnet man als Legierungen (vom italienischen *lega* = Bündnis, Vereinigung).

Die Festlegung des Begriffs Legierung ist am einfachsten, wenn er sich vorläufig nur auf die flüssigen Legierungen erstrecken soll. Flüssige Legierungen sind Lösungen zweier oder mehrerer Metalle ineinander. Diese Metalllösungen unterscheiden sich von den uns bekannten Lösungen von festen Stoffen in Flüssigkeiten oder von Flüssigkeiten ineinander in keinem wesentlichen Punkte. Sie sind bei der Temperatur der Atmosphäre in der Regel bereits erstarrt, während die sonstigen Lösungen bei dieser Temperatur meist noch flüssig sind. Das ist aber kein Wesensunterschied, sondern nur ein Unterschied in der Höhe der Temperaturstufe, auf der die betreffenden Lösungen noch im flüssigen Zustand verharren können.

In der flüssigen Legierung können unter Umständen auch nichtmetallische Körper gelöst sein, wenn nur dabei das metallische Aussehen der erstarrten Legierung erhalten bleibt (metallischer Glanz und metallische Farbe). So ist z. B. das technisch verwertete Eisen stets eine Legierung des Eisens mit dem nichtmetallischen Kohlenstoff. Eisen legiert sich auch mit den Nichtmetallen Silizium, Phosphor, Schwefel. Kupfer kann Legierungen eingehen mit seiner Sauerstoffverbindung Kupferoxydul, mit Phosphor und Schwefel usw.

2. In der überwiegenden Mehrzahl der Fälle ist die gegenseitige Löslichkeit der Metalle im flüssigen Zustand unbegrenzt, d. h. man kann die Metalle in allen beliebigen Verhältnissen zu homogenen Legierungen zusammenschmelzen. Nur in einigen wenigen Fällen gelingt dies nicht. So ist z. B. die gegenseitige Löslichkeit von Blei und Zink begrenzt. Flüssiges Blei vermag nur einen bestimmten von der Temperatur abhängigen Betrag an Zink zu lösen, und ebenso Zink nur einen bestimmten beschränkten Betrag von Blei. Schmilzt man Mischungen mit größeren Gehalten, als diesen Grenzlösungen entsprechen, so lagern sich zwei flüssige Schichten übereinander. Die untere ist bleireicher, sie enthält einen bestimmten Gehalt an Zink in Lösung. Die obere Schicht besteht vorwiegend aus Zink mit einem gewissen Bleigehalt. Beide Schichten vermischen sich nicht bei Temperaturen in der Nähe des Schmelzpunktes von Zink. Durch mechanische Bewegung vermag man zwar die Teilchen der beiden Schichten durcheinander zu wirbeln; sie trennen sich aber in der Ruhe wieder voneinander. Die Verhältnisse liegen ganz ähnlich wie bei einem Gemenge von Äther und Wasser. Auch hier tritt Entmischung in zwei Schichten ein. Die untere Schicht ist Wasser mit

einem bestimmten Betrag von in Lösung gehaltenem Äther; die obere Schicht ist Äther mit etwas aufgelöstem Wasser.

Es gibt auch Fälle, in denen gar keine Mischbarkeit zwischen Metallen im flüssigen Zustand besteht. Ein Beispiel hierfür liefert das Eisen und das Blei. Beide Metalle lagern sich im flüssigen Zustand übereinander ohne merkliche gegenseitige Löslichkeit, ähnlich wie sich Wasser und Öl übereinanderschichten.

3. So einfach das Wesen der Legierung im flüssigen Zustand erscheint, so verwickelt können die Vorgänge während der Erstarrung sein. Man hat früher geglaubt, daß die Legierungen auch nach der Erstarrung ebenso homogen bleiben, wie im flüssigen Zustand. Dieser Fall tritt aber verhältnismäßig selten ein. In der Mehrzahl der Fälle findet während der Erstarrung Entmischung statt; es bildet sich ein Gemenge von Kristallen verschiedener chemischer Zusammensetzung. Während einer nicht zu weit zurückliegenden Entwicklungsstufe der Lehre von den Legierungen versuchte man alle Erscheinungen durch die Annahme von chemischen Verbindungen innerhalb der Legierung zu erklären, und wenn man alte Bücher durchblättert, so findet man chemische Formeln für die verschiedenen Legierungen mit den verwickeltsten Atomverhältnissen. Die Mehrzahl dieser Formeln haben der Kritik nicht standhalten können und sind heute gestrichen.

Der Fall, daß tatsächlich chemische Verbindungen nach bestimmten Atomverhältnissen in den Legierungen vorkommen, kann eintreten. Er kommt z. B. beim Eisen vor, das sich mit dem Kohlenstoff zu dem Karbid Fe_3C verbindet. Man hat dann die Legierungen des Eisens mit dem Kohlenstoff als Legierungen des Eisens mit dem Karbid aufzufassen. Auch zwischen Kupfer und Zinn besteht die Verbindung Cu_3Sn und in einer ganzen Reihe von anderen Fällen hat man Verbindungen nachgewiesen. Bei einer sehr großen Zahl von Legierungen treten dagegen chemische Verbindungen nicht ein. Wir haben diese Verhältnisse in einem späteren Abschnitt noch eingehend zu besprechen.

4. Im allgemeinen kann man den Aufbau der erstarrten Metalle und Legierungen mit dem der kristallinen Gesteine vergleichen. Man unterscheidet in der Gesteinslehre einfache Gesteine, die nur aus Kristallen eines und desselben Minerals aufgebaut sind, wie z. B. der Marmor, der nur aus Kristallkörnern von Kalkspat besteht. Im Gegensatz hierzu bestehen die zusammengesetzten Gesteine aus Kristallen mehrerer Mineralarten, z. B. der Granit aus Kristallen von Quarz, Feldspat und Glimmer.

Ähnlichen Aufbau wie die einfachen Gesteine zeigen sämtliche reinen Metalle nach ihrer Erstarrung. Sie bestehen aus polyedrischen, aneinander stoßenden Kristallkörnern gleicher chemischer Zusammensetzung. Die Umgrenzung der Körner entbehrt der geometrischen Gesetzmäßigkeit, wie wir sie bei frei ausgewachsenen Kristallen gewöhnt sind. Infolge gegenseitiger Störung des Wachstums benachbarter Körner sind ihre gegenseitigen Berührungsflächen zufällige Begrenzungsflächen. Trotzdem besitzen die einzelnen Kristallkörner in ihrem Aufbau, abgesehen von der unregelmäßigen Umgrenzung, alle Kennzeichen kristallisierter Stoffe, wie später zu erörtern sein wird. Auch manche Legierungen bestehen aus Kristallkörnern gleicher chemischer Zusammensetzung, wie z. B. die zinnarmen Kupfer-Zinn- und die zinkarmen Kupfer-Zinklegierungen. Solche Legierungen sind auch im erstarrten Zustand vom chemischen Standpunkt aus als homogen zu bezeichnen, denn die chemische Zusammensetzung ist an verschiedenen Punkten des einzelnen Kristallkorns und an Punkten verschiedener Körner gleich. Die Beobachtung mit dem Auge läßt selbst bei Anwendung stärkster Vergrößerung nicht erkennen, daß die Legierung aus zwei oder mehreren einfachen Metallen besteht. Die Kristallkörner bestehen aus einer auch im festen Aggregatzustand erhalten gebliebenen homogenen Lösung der die Legierung bildenden Metalle.

Man nennt solche Kristalle nach Roozeboom „Mischkristalle“. Nach van't Hoff sagt man auch, die Mischkristalle bestehen aus einer „festen Lösung“ der in ihnen enthaltenen Metalle. Der Begriff feste Lösung darf nicht verwechselt werden mit dem Begriff erstarrte Lösung. Die letztere kann während der Erstarrung die im flüssigen Zustand vorhanden gewesene Homogenität verloren haben und zu einem Gemenge verschiedener Kristallarten umgewandelt sein; bei der festen Lösung muß dagegen die im flüssigen Zustand vorhandene Homogenität auch im festen Aggregatzustand erhalten bleiben. Der Begriff „erstarrte Lösung“ sagt nur, daß eine flüssige homogene Lösung erstarrt ist. Darüber, was während der Erstarrung vor sich geht, und ob die Homogenität erhalten bleibt, gibt der Begriff keinen Aufschluß.

Von der chemischen Verbindung unterscheidet sich der Mischkristall oder die feste Lösung dadurch, daß bei der chemischen Verbindung die Grundbestandteile in unveränderlichen bestimmten Atomverhältnissen vereinigt sind, während bei den Mischkristallen (feste Lösungen) die Grundstoffe innerhalb bestimmter Grenzen in allen möglichen Verhältnissen enthalten sind.

Dem Aufbau der zusammengesetzten Gesteine entspricht derjenige einer sehr großen Menge von Legierungen. So besteht z. B. eine Legierung von Blei mit 16% Antimon, wie Tafelabb. 4, Taf. I, zeigt, aus hellen Antimonkristallen, die eingebettet sind in eine porphyrische Grundmasse, die sich bei stärkerer Vergrößerung wieder in ein sehr inniges Gemenge von kleinen Blei- und Antimonkriställchen auflöst. Solche Legierungen sind nach der Erstarrung ein Gemenge mehrerer Kristallarten. Das Gemenge hat unter Umständen weitgehende Ähnlichkeit mit einem mechanischen Gemenge, wie es durch Zusammenpressung von sehr fein zerkleinerten Metallteilchen unter hohem Druck erzielt werden kann, und das eine wirkliche Legierung darstellt, wenn die einzelnen Teilchen klein genug sind und zwischen ihnen genügender Zusammenhang besteht. Von den gegossenen Legierungen unterscheiden sich solche durch Druck erzeugte Legierungen in der Regel im Gefügebau, der sich beim Übergang aus dem flüssigen in den festen Aggregatzustand etwas anders gestaltet, als durch die Aneinanderlagerung der kleinen festen Teilchen durch Druck. Unterwirft man aber gegossene Legierungen nach der Erstarrung starken bleibenden Formveränderungen durch starke Drücke oder starke Streckungen bei gewöhnlichen Wärmegraden, so können sich die Unterschiede zwischen den aus dem flüssigen Zustande gewonnenen und den durch Zusammenpressen fester Teilchen erhaltenen und in gleicher Weise behandelten Legierungen verwischen.

5. Zuweilen spielen sich in den Metallen und Legierungen nach erfolgter Erstarrung noch besondere Vorgänge ab, die zu vergleichen sind mit dem Übergang aus einem festen Aggregatzustand in einen anderen festen Aggregatzustand. Ähnlich wie der Schwefel nach der Erstarrung bei 95 C° einen Übergang aus dem monoklinen Schwefel in den rhombischen durchmacht, erleidet auch das Eisen nach der Erstarrung bei 900 und 780 C° je eine Veränderung, die weitgehende Übereinstimmung mit Aggregatzustandsänderungen zeigt. Man nennt solche Änderungen, wenn sie sich in chemischen Elementen vollziehen, „allotropische Änderungen“. Aber auch in chemischen Verbindungen und in Mischkristallen vollziehen sich oft im festen Aggregatzustand ähnliche Veränderungen. Man nennt sie allgemein (einschließlich der allotropischen) Umwandlungen. Sie sind durchaus keine seltene Erscheinung; sie üben einen weitgehenden Einfluß auf die Eigenschaften der Legierungen aus, in denen sie sich abspielen.

6. Elektrolytisch niedergeschlagene Metalle zeigen ganz ähnlichen Aufbau wie solche, die aus dem feuerflüssigen Zustand durch Abkühlung erhalten sind; auch sie bestehen aus einzelnen Kristallkörnern. In manchen Fällen ist sogar die

Unterscheidung zwischen den elektrolytisch niedergeschlagenen und den aus dem geschmolzenen Zustand gewonnenen Metallen auf Grund des Gefügebauaufbaues unmöglich, wenn nicht die Unterscheidung durch besondere Nebenumstände noch möglich gemacht wird. Auch Niederschläge von gewissen Legierungen lassen sich elektrolytisch erzielen, z. B. gewisse Legierungen von Kupfer und Zink aus Elektrolytlösungen, die beide Metalle zugleich enthalten.

7. In überwiegendem Maße werden die Metalle und Legierungen aus dem geschmolzenen Zustand gewonnen. Sie sind entweder unmittelbar oder nach nochmaligem Umschmelzen zu Gebrauchsgegenständen vergossen, oder sie werden durch Gießen in bestimmte Formen gebracht, die dann den Ausgangspunkt bilden für die Weiterverarbeitung durch Formveränderungen im festen Zustande bei höheren Wärmegraden (Warmrecken = Schmieden, Walzen usw.) oder bei niederen Temperaturen (Kaltrecken usw.).

Bei der Herstellung der Legierung können entweder die Grundmetalle gemeinschaftlich geschmolzen, oder sie können zunächst einzeln verflüssigt und dann zusammengeworfen werden. Man kann aber auch in vielen Fällen eines oder mehrere der Grundmetalle in die flüssige Form überführen und die übrigen im festen Aggregatzustand befindlichen Metalle in dem flüssigen Bade auflösen. So kann man z. B. Kupfer in flüssigem Zinn auflösen, ähnlich wie Natriumchlorid in Wasser. Es ist hierbei bei weitem nicht nötig, das Zinnbad auf die Schmelztemperatur des Kupfers zu erhitzen, ebensowenig wie es nötig ist, das zur Lösung des Natriumchlorids verwendete Wasser auf die Schmelztemperatur dieses Salzes zu erwärmen. Kohlenstoff löst sich z. B. leicht in flüssigem Eisen auf, obwohl Kohlenstoff zu den nahezu unerschmelzbaren Körpern gehört.

8. Zuweilen ist es zur Bildung der Legierung nicht nötig, daß eines der Grundmetalle flüssig ist. Glüht man z. B. Eisen in einer Umgebung von Holzkohle oder anderen kohlenstoffhaltigen Stoffen, so vermag der Kohlenstoff in das Eisen einzudringen und mit diesem eine Legierung zu bilden. Nach Fleitmann kann sich Eisen bis zu einem gewissen Grade auch mit Nickel legieren, wenn beide miteinander in Berührung geglüht werden. In solchen Fällen findet die Legierung durch Diffusion im festen Zustand statt.

Die Einwirkung von Metaldämpfen auf feste Metalle vermag ebenfalls zu Legierungen zu führen. So wird z. B. Kupfer, wenn es Zinkdämpfen ausgesetzt ist, mit dem Zink legiert.

Auch Gase vermögen Legierungen mit Metallen einzugehen, so z. B. der Wasserstoff mit dem Eisen.