

Pflanzenkrankheiten und die Frage ihrer Bekämpfung durch reine Kulturmaßnahmen, wie z. B. Wahl der Sorte, des Standortes und der Düngung. Welche Bedeutung auch in wirtschaftlicher Hinsicht die Lösung dieser Probleme erlangen kann, das zeigt zur Genüge ein Hinweis auf die durch Anpflanzung von reblausfesten Amerikanerreben erzielten Erfolge im Kampf gegen die Reblaus und ferner auf die Arbeiten zur Züchtung krebssicherer Kartoffelsorten. In beiden Fällen sind Versuche zur unmittelbaren Bekämpfung des Schädling durch chemische Mittel oder dergleichen bisher gänzlich erfolglos geblieben.

Es werden aber nicht nur die Schädlinge der Kulturpflanzen in der Biologischen Reichsanstalt erforscht, auch das Studium der Nützlinge aus dem Tier- und Pflanzenreiche, also vor allem derjenigen Insekten, welche die Befruchtung vermitteln, insonderheit der Bienen, findet hier eifrige Pflege, ebenso die Biologie der natürlichen Feinde der Pflanzenschädlinge, die den organisierten Pflanzenschutz vielfach in wirksamer Weise unterstützen.

Schließlich gehören zu den wissenschaftlichen Aufgaben der Anstalt noch die Erforschung der Mikroorganismen des Bodens, das Studium der Vorratsschädlinge und ihrer Bekämpfung und das Studium der Phänologie. In ihrer Stellung als Reichsbehörde ist die Anstalt zugleich auch durch beratende Tätigkeit und durch Auskunftserteilung vielfach in Anspruch genommen.

Welcher Bewertung sich die nicht nur der Landwirtschaft, sondern dem Volksganzen dienende Arbeit der Biologischen Reichsanstalt erfreut, das zeigte die überaus rege Anteilnahme an der Jubiläumsfeier am 20. Februar dieses Jahres, bei welcher zahlreiche Vertreter der Reichs- und Staatsbehörden, der reinen und der angewandten Wissenschaft, sowie Vertreter der Industrie und fast aller landwirtschaftlichen Berufsverbände ihre Glückwünsche aussprachen und zugleich durch eine Reihe wertvoller Spenden zur Förderung der Forschungsarbeiten beizutragen suchten. [A. 48.]

Die Leichtmetalle in Legierungen.

Von Dr. F. REGELSBERGER, Berlin-Lichterfelde.

(Eingeg. 27./2. 1924.)

Bei der wachsenden Bedeutung, die den Leichtmetallen und ihren Legierungen in Technik und Gewerbe zukommt, erscheint eine nähere Betrachtung des Verhaltens der Leichtmetalle als Legierungsmetalle oder, anders ausgedrückt, eine Beantwortung der Frage, wie die Eigenschaften der Leichtmetalle durch Zusätze anderer Metalle beeinflusst werden, und wie sie selbst als Zusätze zu anderen Metallen oder Legierungen deren Eigenschaften beeinflussen, auch für den Chemiker nicht unangebracht. Sie soll auf Grund der zahlreichen, hierüber vorliegenden Untersuchungen und Erfahrungen in aller durch den beschränkten Raum gebotenen Kürze versucht werden; zuvor mögen jedoch einige allgemeine Tatsachen der Legierungskunde in Erinnerung gebracht sein.

Bekanntlich sind die Metalle im flüssigen (geschmolzenen) Zustand mit den meisten anderen Metallen (auch einigen Metalloiden Bor, Silicium, Phosphor, Tellur, Kohlenstoff) unbegrenzt oder innerhalb gewisser Grenzen mischbar, so daß man von einer Lösung des einen Metalls im andern sprechen kann. Dabei kommen zwar auch Mischungen vor, die als vollkommen homogene Kristalle erstarrten, und in denen die Bestandteile in atomarem Verhältnis — nicht aber, wie die chemischen Verbindungen, im Valenzverhältnis — zuein-

ander stehen, und die man daher als Verbindungen besonders hervorhebt; sie haben jedoch für sich metalltechnisch einen sehr geringen Wert. Meist ergibt aber die Erstarrung solcher flüssigen Lösungen Gemenge aus mehr oder weniger von den Einzelmetallen mit Mischkristallen, d. h. einheitlichen festen Lösungen, atomaren Verbindungen und Eutektikum (homogenes Gemenge von konstanter Zusammensetzung und konstantem Schmelz- und Erstarrungspunkt). Der Vorgang der Ausscheidung läßt sich an Hand der Erstarrungskurven verfolgen (Zustandsdiagramm); die erstarrte Legierung zeigt, sofern sie überhaupt genügende Festigkeit aufweist, ein, häufig mit bloßem Auge (als Bruch), deutlich nach vorhergegangener Ätzung unter dem Mikroskop sichtbares, für jede Metallmischung charakteristisches Gefüge, das man mikrophotographisch darstellen kann (Gefüge- oder Schlibbild). Mit diesem Gefüge stehen die chemischen und physikalisch-mechanischen Eigenschaften in außerordentlich enger Beziehung. Und da dieses Gefüge wiederum häufig — wie übrigens zum Teil auch bei reinen Metallen — durch eine nachfolgende mechanische Behandlung (Hämmern, Walzen, Ziehen) und durch Wärmebehandlung (Ausglühen mit Abschrecken oder langsamem Abkühlen), ja sogar durch Lagern (Altern) beeinflusst wird, so werden auch die Eigenschaften (vor allem Korrosionswiderstand, Härte, Zerreißfestigkeit, Dehnung, elektrische und thermische Leitfähigkeit, spezifisches Gewicht, Magnetismus, spezifische Wärme, Ausdehnung und Schwindung) dadurch noch weiter abgeändert, derart, daß unterschiedliche Mengen der einzelnen Metalle in der Legierung außerordentlich große Unterschiede in den Eigenschaften der erstarrten Legierung bedingen, die sich nicht ohne weiteres aus den bekannten Eigenschaften der Einzelmetalle ableiten lassen und nur verstanden werden können, wenn man die bei der Erstarrung stattfindenden Vorgänge kennt und beachtet.

Durch geringe Zusätze eines anderen Metalls wird in der Regel die elektrische Leitfähigkeit eines Metalls vermindert; auch wird der Schmelzpunkt hierdurch herabgedrückt, was für die Gießbarkeit von Vorteil ist, unter Umständen aber auch für die Verwendung, wo höhere Temperaturen auftreten, ein Nachteil sein kann. Das Metall wird zunächst härter und fester, aber bei Steigerung der Zusatzmengen mehr oder weniger bald, je nach dem Zusatzmetall, spröde, brüchig, sogar zerreiblich; häufig wird auch die chemische Widerstandsfähigkeit erhöht, Erscheinungen, die allerdings vielfach auch auf die Beseitigung von Verunreinigungen des Metalls durch das Zusatzmetall zurückzuführen sind.

Für das spezifische Gewicht der Legierungen hat sich zwar noch keine allgemeine Gesetzmäßigkeit ermitteln lassen, immerhin aber ändert es sich nicht sprunghaft, sondern im Verhältnis zu den Mengen des oder der Zusatzmetalle.

Der weiteren Besprechung sollen nur die eigentlichen Leichtmetalle, die man seit langem unter diesem Namen zusammenzufassen gewohnt ist, unterzogen werden, nämlich die Alkalimetalle (Li, Na, K, Rb, Cs), die Erdalkalimetalle (Ca, Sr, Ba, Be, Mg) und schließlich das zweifellos wichtigste von allen, das Aluminium, nicht aber trotz ihres ebenfalls niedrigen spezifischen Gewichts, Bor, Silicium und die Ceritmetalle. Der leichteren Übersicht wegen ist auch die Besprechung danach gegliedert.

Die folgende Tabelle gibt ein Bild von den bisher bekannten Mischungs- und Legierungsmöglichkeiten der Leichtmetalle. Sie bezieht sich zwar nur auf Metallpaare; es gilt aber im allgemeinen die Regel, daß Metalle, die mit einem und demselben dritten Metall sich mischen, auch in Kombination zu dreien oder mehreren auftreten können.

| | K | Na | Li | Ca | Be | Mg | Cu | Ag | Au | Zn | Cd | Hg | Al | Ti | Si | Ce | Sn | Pb | Sb | Bi | Cr | Fe | Ni | Pt | |
|----|----|----|----|----|-----|----|-----|-----|----|----|----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|-----|----|-----|----|----|---|
| K | V | × | × | | | IV | | H | V | VI | VI | VI | IV | VI | | | VI | VI | VI | VI | | H | | | Rb, Cs, Sr und eine Reihe anderer Elemente sind des Raumes wegen weggelassen. |
| Na | × | × | × | | | × | | H | H | VI | VI | VI | IV | VI | | | VI | VI | VI | VI | | H | | | Tammann führt noch auf: Al-Mn VI, Al-Co VI. |
| Li | | | | | | V | VI | H | H | VI | IV | VI | VI | VI | H | | VI | VI | VI | VI | | H | | | Hoffmann: Na-In, Ba-Pd, Mg-Rb, Al-Ti, Al-Zr, Al-Ga, |
| Ca | | | | | | | VI | H | H | H | H | ? | VI | VI | VII | | VII | VI | VII | VII | | H | | | Al-Th, Al-V, Al-Nb, Al-Ta, Al-As, Al-Mo, Al-W, |
| Be | | | | | | × | VII | III | | | | | III | | H | | | × | | | | VII | | | Al-U, Al-Rb, Al-Pd. |
| Mg | IV | IV | × | V | × | | VI | VI | VI | V | V | ? | V | VI | V | V | V | V | V | V | | H | VI | H | |
| Al | IV | IV | ? | VI | III | V | VI | VI | VI | V | IV | H | | H | III | VI | III | × | V | IV | VI | V | VI | × | |

Die römischen Zahlen geben die Zugehörigkeit zu den von Tammann (Lehrbuch der Metallographie, 1921) aufgestellten Legierungsreihen an. Diese sind:

I. Lückenlose Mischkristallreihen; II. Mischkristallreihen mit einer kleinen Lücke III. Sehr begrenzte Mischbarkeit im festen Zustand; IV. Im flüssigen Zustand nur wenig mischbar; V. Legierungen, die nur eine Verbindung bilden; VI. Legierungsreihen mit mehreren Verbindungen; VII. Unvollständig untersuchte Systeme.

× weist auf die in Landoit-Börnsteins Physikalisch-chemischen Tabellen 1923, Ed. I, aufgeführten (bei Tammann fehlenden) Zustandsdiagramme mit Literaturangaben hin.

H bedeutet Hoffmanns Lexikon der anorganischen Chemie, wo nähere Literaturangaben über diese weniger untersuchten Legierungen zu finden sind.

? bedeutet das Fehlen von genaueren Veröffentlichungen.

I. Die Alkalimetalle.

Von ihren Legierungen sind dem Chemiker am besten bekannt die Amalgame, dienen sie ihm doch seit langem als kräftige, bequem zu handhabende Reduktionsmittel, auch haben sie eine Zeitlang, vor der Entwicklung der jetzigen unmittelbaren Alkalichlorid-elektrolyse, eine wichtige Rolle gespielt als Träger des Alkalimetalls bei der Gewinnung der Alkalihydroxyde (nach Castner-Kellner und anderen).

Da ein Zusatz von Quecksilber zu den Alkalimetallen praktisch nicht in Frage kommt, so handelt es sich hier immer nur um Zusätze der Alkalimetalle zu Quecksilber. Schon sehr geringe Mengen davon genügen, um Quecksilber fest zu machen. Natrium bildet schon mit 1,88 % (als NaHg_8), Kalium mit 1,53 % (K_2Hg_{25}) und Lithium sogar mit 0,69 % (LiHg_3) eine feste Verbindung. Ihre Reaktionsfähigkeit nimmt mit dem Alkaligehalt zu, von Wasser zersetzlich sind sie alle, die niedrigsten wenigstens beim Erwärmen, außer wenn sie kathodisch geschützt sind, wie in der Alkalichlorid-elektrolyse mit Quecksilberkathode.

Leicht zersetzlich durch Wasser, weniger durch den Sauerstoff der Luft sind auch die Legierungen der Alkalimetalle unter sich, von denen zu erwähnen wäre, daß diejenigen zwischen 25 und 90 % Kalium und entsprechenden Mengen Natrium bei gewöhnlicher Temperatur, zum Teil bis -8° , flüssig sind.

Man hat auch schon frühzeitig Legierungen mit Zink, Zinn und Blei kennengelernt, bei der schmelzelektrolytischen Alkalichlorid-zersetzung behufs weiterer Gewinnung von Alkalilauge oder als Zwischenelektrode der Alkalimetallgewinnung in der sogenannten Doppelzelle. Diese Legierungen erwiesen sich zwar als hart, bei höheren Gehalten an Natrium sogar bröcklich, aber als chemisch nicht widerstandsfähig, zum Teil selbstentzündlich.

Nach solchen Beobachtungen und Erfahrungen konnte man zur Ansicht kommen, daß Natrium und mit ihm die übrigen Alkalimetalle als Zusätze zu anderen Metallen diese chemisch unbeständiger machen und so von vornherein jede andere Anwendung als eine rein chemische ausschließen, so daß man sogar, wie beim Aluminium, sehr geringe Mengen von Natrium, die man gelegentlich darin fand, ohne weiteres verantwortlich machte für die beim Gebrauch dieses Metalls etwa auftretenden Korrosionserscheinungen. Trotz dieser nicht ermunternden Auffassung hat noch während des Krieges die Firma Höppler und Dieckhaus eine Legierung als Lagermetall empfohlen, die sie durch einen Zusatz von 1–2 % Natrium zu Blei, das hierdurch eine beträchtliche Härtesteigerung erfuhr, erhielt. Auch die Patente 301 721, 304 405, 306 892, 309 758 und 352 471 von Hanemann und Stockmeyer lassen für Gegenstände, die eine größere Härte als Blei verlangen, diesem einen Zusatz von unter 1,5 % Natrium und unter 1 % Magnesium, gegebenenfalls mit $\frac{1}{2}$ % Kupfer und zur Verminderung der Sprödigkeit von Cadmium machen, ohne daß dadurch die Säurebeständigkeit des Bleies leidet. Auch die Metallbank schlägt im D. R. P. 381 527 einen Zusatz von Natrium und anderen Leichtmetallen neben etwas Aluminium (0,05 % als Schutz gegen Oxydation) vor als Legierungen für konstruktive Zwecke. Die Firma hat (D. R. P. 367 597) gefunden, daß sogar Legierungen von Aluminium mit bis zu 40 % Lithium, mit und ohne Zusatz anderer Metalle, wie Kupfer, Zink, Mangan, Nickel, sich für Konstruktionszwecke eignen und hiervon besonders die Legierungen mit bis zu 6 % von großem mechanischen Wert seien, allerdings unter der Voraussetzung, daß man die Legierung nach ihrer Fertigstellung einer Hitzebehandlung zwischen 100 und 550° und dann einer langsamen Abkühlung und Lagerung unterwirft¹⁾.

Als allgemeines Ergebnis folgt also, daß die Alkalimetalle durch Zusätze anderer Metalle zwar nicht soweit verändert werden können, daß sie technisch brauchbare Metallkompositionen geben, daß sie aber selbst, wenigstens in geringen Zusatzmengen, die Eigenschaften der Grundmetalle günstig abändern können und sie geeignet machen zu technischen Zwecken, denen die Grundmetalle allein nicht oder doch nicht in dem Maße genügen.

II. Die Erdalkalimetalle.

Allgemein bekannt ist die geringe Härte dieser Metalle (etwa wie Blei) und ihre chemische Unbeständigkeit gegen Atmosphärien. Letzteres Verhalten bleibt auch in ihren Legierungen mit anderen Metallen, auch wenn diese in bedeutendem Überschuß sind. Von einem gewissen Mindergehalt an Erdalkalimetall abwärts, der für

jedes Grundmetall verschieden ist, lassen sich jedoch günstige Festigkeitszahlen und genügende Haltbarkeit feststellen, die diese Legierungen auch für technisch-konstruktive Zwecke brauchbar machen.

Nach dem Am. P. 990 040 wurde gefunden, daß die Zugfestigkeit des Kupfers durch 1 % Calcium, insbesondere in Beisein von etwas Molybdän, erhöht wird (vielleicht allerdings durch Bindung der vom schmelzenden Kupfer aufgenommenen Gase, die seine Festigkeit erheblich beeinträchtigen können). Auch Frary und Temple (Am. P. 1 169 392) empfehlen eine Zumischung von Calcium, besonders aber Strontium zu Kupfer mit der Angabe, daß dadurch die Härte und Festigkeit erhöht, die elektrische Leitfähigkeit aber nicht erheblich vermindert werde.

Ein Calciumzusatz von 8,6 % zu Aluminium gibt eine Legierung, die sich nach Wöhler und Michel (1866) in Luft und Wasser unverändert hält, sie zeigte jedoch, wohl wegen des hohen Eisen- und Siliciumgehalts des zur Verfügung stehenden Rohaluminiums keine praktische Anwendbarkeit. Neuere Versuche mit reinerem Material ergaben, daß ein Zusatz von 8–10 % Calcium zu Aluminium das Metall härter, korrosionsbeständiger und leichter zu bearbeiten macht, dabei das spezifische Gewicht vermindert.

Zink wird schon mit 2,25 % Calcium spröde (die Sprödigkeit erreicht mit 30 % Calcium erst ihr Maximum); die Legierungen sind aber noch bis 6 % Calcium, bei Cadmium sogar mit 10 % Calcium an der Luft ziemlich beständig.

Die Amalgame bieten zunächst ein geschichtliches Interesse, da in dieser Form Davy (1808) zum ersten Male Barium herstellte, und man sie auch später noch zur Herstellung reiner Metalle (durch Abdestillieren des Quecksilbers im Wasserstoffstrom), insbesondere von Barium, benutzt hat. Sie sind schon bei geringen Mengen von Erdalkalimetallen, z. B. BaHg_{12} mit 5,39 % Ba, fest, oxydieren sich aber an der Luft.

Wie das Natrium, so macht auch Calcium das Blei in geringen Mengen, unter 4 %, in welchem Verhältnis die Legierung bereits brüchig wird, zu Lagermetall geeignet. Die Zinnlegierung wird schon mit 2 % Calcium von Wasser zersetzt, dagegen ist Antimon-Calcium mit 6 % noch in Luft und heißem Wasser beständig, nicht dagegen Wismut-Calcium mit 2 %. Nach amerikanischen Berichten soll eine Legierung von 96,75 % Blei, 2 % Barium und 1 % Calcium, die als „Ferry-Metall“ bezeichnet wird, in ihren Festigkeits-eigenschaften dem Duralumin (s. bei Aluminium) sehr ähnlich sein, von Sauerstoff nicht angegriffen werden und sich zu Lagermetall eignen.

Auch die Metallbank empfiehlt in ihren Patenten 363 125 bis 363 127 besonders die Legierungen mit Barium, die luftbeständiger als mit Calcium seien („Lurgimetall“), als für Lagermetalle geeignet²⁾. Noch von verschiedenen anderen sind derartige Kombinationen, meist noch mit geringen Zusätzen anderer Metalle, vorgeschlagen worden, denen ähnliche Eigenschaften nachgerühmt werden. Der mit der Härtesteigerung eines größeren Calciumzusatzes verbundenen Kohäsions- und Widerstandsminderung läßt sich durch Zusatz von bis zu 6 % Zink oder statt dessen von Magnesium mit Zink und etwas (0,1) Aluminium begegnen.

Die Silicide, insbesondere des Calciums, sind sehr kräftige Reduktionsmittel und können zur Reinigung von Stahl und Eisen vorteilhafte Anwendung finden. An der Luft ist die Verbindung CaSi (58,3 % Silicium) ziemlich beständig, Salpetersäure, auch konzentriert, greift nur langsam an, Salzsäure löst zum Teil, je nach Siliciumgehalt, äußerst heftig. Legierungen mit 60–91 % Silicium werden von Wasser fast gar nicht angegriffen, zwischen 38 und 52 % Silicium lösen sich darin unter Wasserstoffentwicklung.

Mit Cerium bildet Calcium eine feste, funkensprühende Legierung.

III. Das Magnesium.

Die Legierungen sind härter als die Einzelmetalle. Sie zeichnen sich besonders in den mittleren Prozentgehalten durch eine große Reaktionsfähigkeit und daher geringe Wetterbeständigkeit aus, vor allem die Legierungen mit den Alkali- und Erdalkalimetallen, mit Ausnahme des Lithiums (D. R. P. 361 086), das noch bei einem Zusatz bis 10 % wetterbeständige, gut walzbare und durch Wärmebehandlung vergütbare Legierungen mit Magnesium gibt.

Die Legierungen mit Kupfer sind bis zu einem Gehalt von 10 % Kupfer noch hämmerbar, darüber hinaus wächst die Sprödigkeit sehr stark, so daß sie schon mit 70 % Kupfer zwischen den Fingern zerreiblich sind, während ein Kupfergehalt unter 10 % solche Festigkeit und Dehnung gibt, daß die Legierungen für schnellaufende Motoren vorgeschlagen worden sind. Durch Zusatz von 1 % Calcium und

¹⁾ Eine merkwürdige Erscheinung, die 1832 von Marks beobachtet wurde und noch nicht aufgeklärt ist, mag hier erwähnt werden: das verschiedene Verhalten der Wismutlegierungen beim Erkalten aus dem Schmelzfluß: Wismut-Natrium dehnt sich hierbei aus, Wismut-Kalium nicht.

²⁾ Vgl. Czochralski u. Welter, Lagermetalle und ihre technologische Bewertung, 1920.

1 % Silicium sollen noch Legierungen bis zu 25 % Kupfer für Verbrennungsmaschinen verwendbar sein.

Ein Zusatz von 0,5 % Zink zu Magnesium gibt nach Willot eine Legierung, die in ihren Eigenschaften das Aluminium übertrifft und dabei viel leichter ist (spezifisches Gewicht 1,762, daher als „Korkmetall“ bezeichnet). Auch andere rühmen den guten Erfolg für Festigkeit und Härte bei geringem Dehnungsverlust durch Zusätze von 1–10 % Zink. Cadmium soll sogar noch bis zu einem Zusatz von 40 % gut brauchbare Legierungen geben, desgleichen Beryllium bis 10 % und Thallium bis 20 %.

Bei Zink als Grundmetall haben sich insbesondere die ternären Legierungen mit Magnesium und Aluminium, je etwa 3,3 %, als technisch wertvoll und besser als Zink erwiesen.

Die Amalgame haben große Ähnlichkeit mit den Lithiumamalgame. Sie sind reaktionsfähiger als die Natriumamalgame; so schwillt ein solches mit nur 0,5 % Magnesium an der Luft stark an und oxydiert sich sehr heftig mit Wasser.

Von besonderer Wichtigkeit für technische Zwecke haben sich die Legierungen mit Aluminium, ohne und mit Zusätzen anderer Metalle, erwiesen. Sie lassen sich, auch unter Berücksichtigung ihrer Eigenschaften, in zwei Gruppen teilen, solche mit vorwiegendem Magnesiumgehalt und solche mit vorwiegendem Aluminiumgehalt. Die letzteren werden zweckmäßig bei den Aluminiumlegierungen besprochen werden. Von den ersteren hat das sogenannte „Elektronmetall“ (Griesheim) praktische Bedeutung besonders in der Flugzeugindustrie erlangt, da es mit großer Festigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen Atmosphären eine große Leichtigkeit (1,73–1,84) verbindet. Von Alkalien wird es nicht angegriffen, wohl aber von Säuren und Salzlösungen, so daß es nicht angewandt werden kann, wo es dauernd in Berührung mit irdischen Wässern steht. Es enthält meist 8 % Aluminium, dazu etwas Zink und (oder) Kupfer. Der Schmelzpunkt liegt, nahe dem des Aluminiums, zwischen 620 und 650°; es ist aber — über seinen Schmelzpunkt erhitzt — leicht entzündlich und dann brennbar, besonders in feinen Spänen, so daß seine Bearbeitung größte Sauberkeit verlangt. Ein etwaiger Brand kann auch nicht mit Wasser gelöscht werden, weil dieses in der Hitze durch das Metall zersetzt wird.

Geringe Mengen Thallium machen Magnesium geschmeidiger. Thalliumreichere sind leicht oxydierbar.

Die Ceriumlegierungen, besonders mit Cerium im Überschuß, gehören zu den stärksten Desoxydationsmitteln; die letzteren sind pyrophor, aber brüchig, werden jedoch durch einen geringen Zusatz von Zink, 8 % bei ebensoviel Magnesium, fest.

Ein Zusatz von 3–5 % Zinn macht das Magnesium leicht und scharf gießbar, ein kleiner Kupferzusatz hierbei steigert noch die Festigkeit und Dehnung. Legierungen mit Zinnüberschuß, z. B. die Legierung Magnesium-Zinn mit etwa 85 % Zinn sind hart, spröde und zersetzen Wasser. Ähnlich verhalten sich die Bleilegierungen. Eine solche mit 15 % Magnesium zerfällt an feuchter Luft schon in wenig Stunden zu Pulver; mit höherem Magnesiumgehalt (35 %) sind diese Legierungen, die sich durch Schmelzflußelektrolyse herstellen lassen, von Ashcroft zur Wasserstoffentwicklung mit Wasser, besser Wasserdampf, vorgeschlagen worden, wobei sie sehr reaktionsfähige Hydroxyde ergeben, aus denen man leicht Bleiweiß und Bleisuperoxyd gewinnen kann. Mit Mengen unter 4 % Magnesium und geringen Zusätzen von Zink oder Kupfer sind die Legierungen hart und genügend beständig, um als Lagermetalle zu dienen.

Die Legierungen mit Wismut oder Antimon bieten nichts bemerkenswertes.

Legierungen mit 0,5–8 % Mangan, die sich jedoch nur bei sehr hoher Temperatur (auf aluminothermischem Wege) herstellen lassen, zeigen hohe Festigkeit bei niedrigem spezifischen Gewicht (unter 2,0 %).

Die Eisenlegierungen sind leicht oxydierbar und daher gute Reduktionsmittel. Praktische Bedeutung haben sie und die Legierungen mit Nickel oder Kobalt nicht gewonnen.

IV. Das Beryllium.

Beryllium, dessen legierende Eigenschaften denen des Siliciums nahekommen, würde ein sehr gutes Legierungsmetall, auch als Zusatz, sein, wenn nicht der durch seine Seltenheit bedingte sehr hohe Preis wirtschaftlich hindernd im Wege stünde.

Die Kupferlegierungen mit 5–10 % Beryllium sind an der Luft nicht oxydierend, kalt hämmerbar und leicht zu bearbeiten. Die Färbung wird bereits durch wenig ($\frac{1}{2}$ %) Beryllium beeinflusst; die Legierung mit 1,3 % hat schon Goldfarbe, mit 10 % ist sie nur noch schwach gelblich gefärbt.

Die Legierungen mit Aluminium, die zwischen 1 und 99 % Beryllium enthalten können, sind gegen Feuchtigkeit widerstands-

fähig, festigen Aluminium in geringen Zusatzmengen (1–5 %) stärker als Magnesium und erniedrigen das spezifische Gewicht noch um 5–30 %, daher für Luftfahrzeuge vorgeschlagen.

Beryllium bildet keine Amalgame.

V. Das Aluminium.

Die Zahl seiner Legierungen ist Legion. Einige von ihnen, so die Kupferlegierung, und zwar mit Kupferüberschuß (als Aluminiumbronzon bekannt) und die Eisenaluminiumlegierungen kannte und benutzte man schon lange, inzwischen haben sich noch viele andere Kombinationen von Wert und Interesse dazu gefunden. Ihre Wichtigkeit für die Technik zeigt sich auch darin, daß, wie in den bedeutendsten Auslandsstaaten, so auch in Deutschland, sich ein Ausschuß zu ihrer weiteren Erforschung gebildet hat (in der Deutschen Gesellschaft für Metallkunde).

Nach den vorliegenden zahlreichen metallographischen Untersuchungen erscheinen in Mengen, daß das spezifische Gewicht 3,0 nicht überschritten wird, Cadmium, Titan, Zirkonium, Blei, Vanadium, Tantal, Antimon, Molybdän, Wolfram ohne technische Wirkung, Zinn und Wismut aber geradezu schädlich, nützlich dagegen Zink, Magnesium, besonders aber Kupfer, nach neueren Ergebnissen auch das sonst als Verunreinigung im Aluminium sehr gefürchtete Silicium, und zwar in ziemlich großen Zusatzmengen, Eisen, Kobalt, Nickel in kleinen Mengen, ebenso Cerium. Als besonders beachtenswert erwies sich bei diesen Legierungen die Bearbeitungstemperatur und eine für jede Kombination sorgfältig zu ermittelnde Wärmebehandlung behufs „Vergütung“ oder „Veredlung“ dieser Legierungen, d. h. Verbesserung ihrer durch den Guß oder die Bearbeitung (Walzen, Schmieden usw.) erlangten mechanischen Eigenschaften und vielfach auch des Korrosionswiderstandes. Besonders wichtig erscheint diese Fähigkeit und deren praktische Auswertung bei den leichten, d. h. den Legierungen mit vorwiegendem Aluminiumgehalt. Sie haben ein im Vergleich zu den sonst angewandten Konstruktionsstoffen, wie Kupfer- und Stahllegierungen, so niedriges spezifisches Gewicht, daß sie bei Berücksichtigung ihrer guten mechanischen Eigenschaften im Wettbewerb mit den älteren Baustoffen bei der Preisberechnung vielfach günstiger abschneiden und da, wo die Leichtigkeit an sich eine große Rolle spielt, wie im Luftschiff-, Flugzeug- und Automobilbau, einem Bedürfnis entgegenkommen, zumal auch ihr Schmelzpunkt günstig genug für die Verwendung als Gußmaterial liegt.

Von den Alkalimetallen, die sich, soweit bekannt, mit Aluminium im flüssigen Zustand so gut wie gar nicht mischen, macht das Lithium eine überraschende Ausnahme, indem es sich bis zu 40 % mit Aluminium zu einer festen Legierung verbindet (s. unter I).

Über die günstige Einwirkung eines Zusatzes von 8–10 % Calcium ist ebenfalls schon gesprochen worden (s. unter II).

Für das Kupfer hat, entgegen einigen Zweifeln, Schirmeister 1915 nachgewiesen, daß es zu den wertvollsten Zusatzmetallen des Aluminiums gehört, mag dieses allein oder mit noch andern Metallen verbunden sein, und daß es dessen mechanische und chemische Eigenschaften, im richtigen Verhältnis angewendet, erheblich verbessert. Umgekehrt übt auch Aluminium in kleineren Zusatzmengen auf Kupfer und seine Legierungen einen je nach der Menge günstigen Einfluß aus.

Bei den ersteren, mit vorwiegendem Aluminiumgehalt und einem dementsprechend niedrigen spezifischen Gewicht, nimmt die Festigkeit bis 3 % Kupfer stark zu, bleibt dann bis 7 % ziemlich gleich, um schließlich bis 11 % nochmals anzusteigen und mit etwa 15 % den zulässigen Grad an Härte und Festigkeit zu erreichen, so daß man Legierungen mit bis 4 % Kupfer als sehr walzfähig, mit bis 10 % wenigstens in der Wärme noch walzbar und mit bis gegen 15 % als für Gußzwecke brauchbar ansprechen kann. Dabei geht auch der vom Gefüge abhängige, mit bloßem Auge erkennbare Bruch von grobkörnig allmählich bis zu feinkörnig über. Die Färbung nähert sich mit zunehmendem Kupfergehalt dem Gelb; eine Legierung mit 10 % Kupfer, die als Dizigold benannt wurde, hat Glanz und Farbe des Goldes, unterliegt nicht der Oxydation, ist säure- und alkalifast und soll die Härte und Haltbarkeit guten Stahls besitzen.

Von den leichten Legierungen, die neben Kupfer noch andere Metalle enthalten, soll, soweit diese den Kupfergehalt übersteigen, im späteren Verlauf noch die Rede sein, von solchen, deren weitere Metallzusätze unter dem Kupfergehalt bleiben, beanspruchen besonders diejenigen mit Magnesium das besondere Interesse des Metalltechnikers. Bei ihnen wurde zuerst von Wilm 1911 die Vergütbarkeit durch Wärmebehandlung aufgefunden. Er zeigte, daß diese Legierungen durch Glühen bei einer bestimmten unter dem Erstarrungspunkt liegenden Temperatur und darauffolgendes Abkühlen oder Abschrecken, besonders nach darauffolgendem längeren Lagern, eine beträchtliche Verbesserung ihrer mechanischen Eigenschaften

erfahren. Es genügt hierzu ein Zusatz von 0,5 % Magnesium. Die Eigenschaft der Vergütbarkeit findet sich übrigens auch bei den gleichartigen Legierungen des Aluminiums mit (etwa 8 %) Zink, wenn sie noch 0,1–0,5 % Magnesium enthalten.

Zu diesen Legierungen gehört das Duralumin mit 3,5–5,5 % Kupfer, 0,5 % Magnesium und 0,8 % Mangan (eine ebenso benannte, angeblich mit den gleichen Vorzügen ausgestattete amerikanische Legierung hat 79 % Aluminium, 10 % Phosphorkupfer und 11 % Magnesium).

Die Vorzüge des Duralumins sind bei niedrigem spezifischen Gewicht (2,75–2,84) hohe Festigkeit (26 kg/qmm), Härte und Dehnung (17 %), seine außerordentliche Wetterbeständigkeit und chemische Widerstandsfähigkeit, allerdings nicht gegen Salzsäure und alkalische Laugen. Eine weitere Verbesserung soll nach Frary ein Zusatz von wenig Calcium (2 %) bringen.

Noch viele andere Metallzusätze neben Kupfer mit und ohne Magnesium, wie Silber, Zink, Cadmium, Titan, Silicium, Zinn, Antimon, Mangan, Eisen, Nickel, Wolfram, Chrom sind vorgeschlagen und mit mehr oder weniger Berechtigung empfohlen worden.

Dient das Aluminium — im Gegensatz zu den vorstehenden Legierungen — nur als Zusatz zum Kupfer, so bezeichnet man diese Legierungen, wenn auch wenig zutreffend, noch von der ersten Zeit ihrer Herstellung her als „Aluminiumbronzen“ und überträgt diesen Namen auch auf diejenigen Legierungen, die neben Kupfer noch beträchtliche Mengen anderer Metalle, wie Mangan, Nickel, Chrom, enthalten.

Bei den reinen Kupferbronzen kann der Aluminiumgehalt zwischen 0,1 und 15 % betragen, darüber hinaus wird die Legierung zu spröde. Mit 7,35 % Aluminium dagegen ist die Legierung sehr geschmeidig und widerstandsfähig gegen Drehbewegungen, bei 10 % Aluminium besteht neben Geschmeidigkeit noch große Zähigkeit, bei 15 % wird Stahlhärte erreicht. Bis 8 % Aluminium sind die Legierungen walzbar. Das spezifische Gewicht ist bei 3 % Aluminium 8,691, bei 10 % 7,689. Die Farbe ist mit 5 % goldähnlich, mit 15 % ziemlich hellgelb, mit 20 % fast weiß. Die Legierungen sind chemisch sehr widerstandsfähig, unter anderem haltbar gegen Seewasser.

Auch Legierungen des Kupfers werden durch geringen Aluminiumzusatz zum Teil noch verbessert, wie das „Aluminiummessing“ zeigt, das aus Messing (Kupfer-Zink) mit 1–4 % Aluminium besteht. Eine große Anzahl der verschiedensten Kombinationen von Kupfer mit anderen Metallen und etwas Aluminium ist hergestellt worden mit dem Erfolg, daß jeweils bestimmte Mengen Aluminium die Festigkeit und Elastizitätsgrenze erhöhen und auch chemisch gelegentlich bemerkenswerte Eigenheiten ergeben; natürlich machen sich in diesen zusammengesetzten Metallen auch die sonstigen Bestandteile mit ihren Legierungseigenschaften geltend.

Von einigem wissenschaftlichen und technischen Interesse sind darunter die durch Aluminiumzusatz zu Mangan-Kupfer entstehenden Heuslerschen „ferromagnetischen“ Legierungen (mit beispielsweise 70–73 % Kupfer, 18–20 % Mangan und 9–10 % Aluminium). Sie weisen im Gegensatz zu der schwachen Magnetisierbarkeit der Einzelmetalle eine starke Magnetisierbarkeit auf, wenn sie unter bestimmten Bedingungen erhitzt und wieder abgekühlt werden.

Auch Silber verleiht dem Aluminium größere Härte und Festigkeit, gute Bearbeitbarkeit und chemische Widerstandsfähigkeit (kein Anlaufen oder Schwarzwerden) und umgekehrt so auch das Aluminium dem Silber. Man soll hierbei bis etwa 8 % Silber einerseits und 11 % Aluminium andererseits gehen können; das sogenannte Drittelsilber, das zum Prägen und Gravieren empfohlen wird, hat allerdings 33,3 % Silber. Auch diese Legierungen werden durch Zusatz von Kupfer, Zink, Cadmium, Kobalt, Nickel, Chrom, Mangan, Magnesium noch mannigfach abgeändert und so, sei es durch ihre Eigenschaften, sei es durch ihren Gesteuerungspreis, für verschiedene Sonderzwecke wertvoll; so kann z. B. der Gehalt an den kostspieligen Silber durch 0,1 % Magnesium bis unter 2 % herabgedrückt werden.

Bei den Legierungen mit Gold ist die beträchtliche Wärmeentwicklung bei der Vereinigung beider Metalle und vor allem eine außergewöhnliche Schmelzpunktverschiebung nach oben bemerkenswert; die Verbindung Gold-Aluminium (21,5 % Aluminium) schmilzt nämlich gegen die Regel höher als Gold, während die übrigen Legierungen, sowohl mit mehr als mit weniger Aluminium, einen tieferen Schmelzpunkt als Gold haben. Aluminium erhöht die Zähigkeit und Festigkeit des Goldes. Der Farbenwechsel dieser Legierung ist bemerkenswert: sie sind mit 6 % Gold noch weiß, mit 10 % schwach violett, mit 21,5 % schön purpurfarben; Kupferzusatz erhält bei diesen Legierungen die Goldfarbe länger; so ist eine Legierung mit 97,8 % Kupfer, 2 % Aluminium und nur 0,2 % Gold schon schön goldfarben, geht aber bei Zusatz von mehr Aluminium ins Grüne über.

Von Legierungen mit Beryllium war schon unter IV die Rede.

Unter III haben wir gesehen, wie das Aluminium, in geringen Mengen dem Magnesium zugesetzt, dessen Eigenschaften verändert. Umgekehrt wird auch das Aluminium durch Zusatz von Magnesium stark beeinflusst. Schon geringe Mengen Magnesium erhöhen die Zähigkeit und Festigkeit (zwischen 3 und 10 % auf das Doppelte) sowie die Gießbarkeit des Aluminiums und verbessern seine Bearbeitbarkeit, bis mit der Verbindung Al_2Mg_3 das Maximum der Sprödigkeit nach beiden Seiten hin erreicht ist. Besonders brauchbar sind die Legierungen zwischen 10 und 25 % Magnesium, welche von Mach zuerst aufgefunden und unter dem Namen „Magnalium“ in den Handel gekommen sind. Sie sind noch geschmeidig, kalt schmiedbar und walzbar, lassen sich zu Draht und Röhren ausziehen, ihre Farbe ist silberweiß; gegen Atmosphärrillen sind sie ziemlich beständig, schlecht jedoch gegen Salzlösungen und irdische Wässer. Zusätze anderer Metalle, Nickel, Kupfer, Wolfram, Chrom, weniger gut Zink, Zinn, Cadmium, Wismut lassen die mechanischen und physikalischen Eigenschaften noch weiter abstufen, ohne sie jedoch wesentlich zu verbessern. Doch soll ihr Korrosionswiderstand durch einige solcher Zusätze erhöht werden (z. B. Naylor-Huttons Legierungen, D. R. P. 266 423, für ärztliche Instrumente). Nachbehandlung durch Wärme und Verdichten (Hämmern u. dgl.) beeinflussen die mechanischen Eigenschaften ebenfalls.

Als weiteres wertvolles Zusatzmetall hat sich auch das Zink gezeigt. Die Zug- und Bruchfestigkeit sowie die Härte steigen bis zu 25 % Zinkgehalt, von da ab wird das immer feiner gewordene Bruchgefüge wieder kristallinisch und gröber und die Legierung spröde, um erst von 90 % Zink ab wieder geschmeidiger zu werden. Weich und leicht bearbeitbar, walz- und ziehbar sind besonders die Legierungen mit 10–15 % Zink, sie sind auch ziemlich unempfindlich gegen feuchte Luft. Gefüge und Festigkeit werden durch schnelles Abkühlen noch erheblich verbessert, auch die mechanische Behandlung zwischen 120 und 150° soll hierauf günstig wirken.

Umgekehrt macht auch ein geringer Zusatz von Aluminium das Zink dünnflüssiger, fester und dehnbarer, damit auch leichter bearbeitbar und zu vielen Konstruktionszwecken, wo sonst die Kosten des größeren Aluminiumgehalts in Betracht kommen, nutzbar; z. B. wird eine Legierung von 84 % Zink und 16 % Aluminium als Ersatz für Messingguß genannt.

Zusatz anderer Metalle bewirkt auch hier in beiden Fällen (aluminiumreich und zinkreich) vorteilhafte Abstufungen der technischen Eigenschaften. So ist eine Legierung mit 8 % Zink und 4 % Kupfer sehr viel widerstandsfähiger gegen Erschütterungen als eine solche ohne Kupfer mit gleichem oder höherem Zinkgehalt. Durch geeignetes Zusammenschmelzen erhält man eine Legierung von 94 % Zink, 5 % Aluminium und 1 % Kupfer, deren Festigkeit dreimal so groß sein soll, als die des Zinks allein. Die sonst spröde Legierung von 50–80 % Aluminium und 49–14 % Zink soll durch Zusatz von 0,25–1,25 % Eisen ziehbar, biegsam und schmiedbar werden und bei höherer Zugfestigkeit auch höhere elektrische Leitfähigkeit als beide Grundmetalle allein haben. Ein Eisenzusatz soll außerdem die Verdoppelung des Zinkgehalts in den aluminiumreichen Legierungen ermöglichen, ein kleiner Antimonzusatz neben Kupfer das starke Schwinden vermindern. Als besonders wertvoll werden die ternären aluminiumreichen Legierungen mit Zink und Magnesium zusammen gerühmt; die mit 4,6 % Zink und 3,7 % Magnesium soll dem Gußmessing, mit 7,1 % Magnesium und 4,4 % Zink dem Rotguß entsprechen.

Auch bei zinkreichen Aluminiumlegierungen steht als wertverbessernd in erster Linie der Zusatz von Kupfer, sodann noch Magnesium, Blei, Mangan, Eisen, Wolfram, Nickel, Kobalt; eine Legierung mit 1–8 % Aluminium, 2 % Wolfram, Kobalt oder Nickel wird als bester Ersatz für Kupferzinnbronze gerühmt.

Gegen Quecksilber und seine Salze ist das Aluminium außerordentlich empfindlich. Das nur geringe Mengen Quecksilber aufnehmende Amalgam ist ein starkes und, da es neutral ist, für viele Zwecke empfehlenswertes Reduktionsmittel, das wohl meist unter dem Namen „Aktives Aluminium“ bekannt ist.

Die nicht ganz unbestrittene, wahrscheinlich auf Reinigung beruhende Wirkung von Cerium auf Aluminium und seine Legierungen kann hier nur angedeutet werden, ebenso muß auch auf die Besprechung der anscheinend günstigen Einwirkung von Titan und Zirkonium verzichtet werden.

Von besonderer Wichtigkeit haben sich neuestens mehr und mehr die Aluminium-Siliciumlegierungen gezeigt, ein Umstand, der auch deswegen bemerkenswert ist, weil man früher jeden Gehalt an Silicium im Aluminium als dessen Eigenschaften schädigend ängstlich zu vermeiden suchte; daß bereits 1854 Chappelle durch Erhitzen von Ton mit Kohlenstoff und Chlornatrium (als Flußmittel, da er

noch keinen elektrischen Ofen hatte) ausplattbare Metallkugeln erhalten hatte, die kein reines Aluminium sein konnten, sondern Silicium enthalten mußten, hat lange Zeit niemand beachtet. Erst spät, z. B. von Schirmeister 1915, wurde auf die guten Eigenschaften dieser Legierungen, ihre Wetterbeständigkeit, den feinen Bruch, die Walzbarkeit und die verhältnismäßig große Festigkeit bei wenig verminderter Dehnung aufmerksam gemacht.

Es wird nun seit kurzer Zeit von der Metallbank eine Aluminium-Siliciumlegierung unter dem Namen „Silumin“ in den Handel gebracht, die bei niedrigerem spezifischen Gewicht (2,5–2,65) nach den veröffentlichten Zahlen sehr gute mechanische und chemische Eigenschaften zeigt, sowohl gegenüber dem Reinaluminium als auch im Vergleich zu anderen bekannten hochgeschätzten leichten Legierungen. Die Legierungen mit 11–14 % Silicium geben dichte Güsse, die gut zu bearbeiten sind, gegen Dampf und Salpetersäure sind sie noch widerstandsfähiger als Reinaluminium. Sie halten ihre größere Festigkeit genügend bis gegen 300° und bewahren ihre Dehnungszahl^{*)}.

Zinn, mit dem Aluminium leicht und in jedem Verhältnis mischbar ist, erhöht in Mengen von 1–15 % dessen Festigkeit, gibt scharfen Guß und vermindert das Schwinden, macht aber spröde, außerdem sind diese Legierungen leicht oxydierbar, derart, daß eine Legierung mit 15 % Zinn schon nach wenigen Tagen Liegens an der Luft zu Pulver zerfällt. Umgekehrt sind auch die zinnreichen Aluminiumlegierungen leicht oxydierbar, so zersetzt z. B. eine Legierung mit 25 % Aluminium heftig das Wasser.

Blei, mit dem Aluminium nur wenig mischbar ist, ist zwar innerhalb der Mischungsgrenzen nicht unbedingt schädlich, aber auch von keinem besonderen technischen Wert.

Besser als die einfachen binären Legierungen sind die ternären und mehrfachen Legierungen, die Zinn oder Blei oder beide miteinander enthalten. Hierher gehört z. B. die sogenannte Gosmannsche Legierung (D. R. P. 218 970), die 8 % Kupfer und 5 % Zinn enthält und sehr leicht und homogen gießbar, bearbeitungsfähig und von großer mechanischer Widerstandskraft ist. Als brauchbares Lagermetall ist im D. R. P. 257 868 empfohlen eine Legierung von 40–80 % Aluminium, 5–50 % Zinn und 0–20 % eines in Zinn löslichen Metalls, wie Blei, und dazu 5–30 % eines solchen Metalls, das, wie Antimon, Nickel, mit der Grundmasse keine feste Legierung bildet, sondern sich in ihr als chemische Verbindung in kristallinen Körnern ausscheidet, die härter als die Grundmasse sind. Von den vielen anderen derartigen Legierungen, die Zinn enthalten, mögen noch erwähnt sein die nach dem Brit. P. 132 411, die gegen Seewasser beständig sein sollen und 90–94 % Aluminium, zwischen 1 und 6 % Zinn, 1–3 % Kupfer, und je nach Umständen zwischen 1 und 4 % Antimon oder Wismut enthalten. Ungünstig liegen auch hier die Verhältnisse bei vorwiegendem Zinngehalt, besser wenn ein anderes Grundmetall, z. B. Kupfer, vor Aluminium und Zinn vorwiegt oder wenn statt Zinn Blei vorhanden ist.

Wie die Angaben über das sogenannte Vanalium, eine Aluminium-Vanadiumlegierung lauten, so scheint das Vanadium die mechanischen und chemischen Eigenschaften des Aluminiums zu verbessern, was auch durch Schirmeister bestätigt wird.

Die Niob- und insbesondere die Tantallegierungen zeigen sich zwar gegen Säuren, auch Salzsäure und konzentrierte Schwefelsäure, sehr viel widerstandsfähiger als Reinaluminium, aber in bezug auf ihre mechanischen Eigenschaften trotz des feinkörnigen Bruchgefüges wenig geändert.

Vom Antimon und Wismut, deren günstiger Einfluß in Mehrstoffgemischen schon gelegentlich erwähnt wurde, ist zu sagen, daß Antimon, das mit Aluminium in allen Verhältnissen mischbar ist, in Mengen unter 5 % zwar den Korrosionswiderstand etwas bessert, aber die mechanischen Eigenschaften wenig verändert, während Wismut, das sich nicht in allen Verhältnissen mischt, eher als schädlich angesprochen werden muß. Merkwürdig ist für die Aluminium-Antimonlegierungen, daß die Schmelzpunkte höher als die der Einzelmetalle liegen.

Im Anschluß hieran mag noch auf den von Rübel vorgeschlagenen Zusatz von 4–7 % Phosphor hingewiesen sein, durch den Festigkeit, Zähigkeit und Korrosionswiderstand des Aluminiums wesentlich erhöht werden sollen.

Was die binären Legierungen des Aluminiums mit Chrom, Wolfram, Molybdän anlangt, so bewirken diese bei Aluminiumüberschuß nur in geringen Zusatzmengen Verbesserung der Eigenschaften und

geben in Anbetracht ihres hohen Schmelzpunkts und der damit verbundenen Herstellungsschwierigkeiten wenig Anreiz zur technischen Verwendung. Günstiger liegt die Sache wieder für die Mehrstofflegierungen, bei denen auch wieder als Beimischungen Kupfer und Magnesium besonders hervorstechen, aber auch Zink, Zinn, Antimon, Nickel, Cerium in Frage kommen.

Die binären Legierungen mit Mangan, das nur in engen Grenzen mit Aluminium mischbar ist, bieten kein besonderes technisches Interesse. Umgekehrt wird Mangan durch Aluminiumzusatz sogar sehr spröde.

Eine besondere Wichtigkeit besitzt die Frage der Einwirkung des Eisens wegen der nur durch sorgfältige Auswahl reiner Rohstoffe erreichbaren Ausschließung desselben bei der Gewinnung des Reinaluminiums, ähnlich wie das Silicium. Eisen und Aluminium mischen sich in allen Verhältnissen, doch liegt wegen des hohen Schmelzpunkts des Eisens die praktische Grenze der Legierbarkeit bei 16 %, die an sich sehr geringe Zugfestigkeit erreicht ihr Maximum schon bei 3,7 %, die Dehnung sinkt schon von 1,3 % Eisen ab, die Schwindung und Lunkerung wird zwar stark verringert, aber schon mit 7 % Eisen tritt wieder starkes Treiben ein. Der Bruch wird bis 5 % mehr und mehr feinkörnig, von da ab wieder gröber, bis 12 % sind die Legierungen in der Wärme walzbar. Die Wetterbeständigkeit wird etwas erhöht. Nach alledem braucht man mit Schirmeister bis 2–3 % Eisen eine Schädigung nicht zu befürchten, es ist aber im allgemeinen ein technischer Nutzen dieser Legierungen auch nicht zu erkennen.

Umgekehrt machen kleine Zusätze von Aluminium zu Eisen dieses in mechanischer Hinsicht wertvoller, was allerdings in erster Linie auf die reinigende und entkohlende Wirkung des Aluminiums zurückzuführen ist.

Nickel mit 5 % und darunter verbessert zwar die Zugfestigkeit des Aluminiums im höheren Grade als Kupfer, die Legierung ist aber weniger beständig gegen Witterungseinflüsse. Auch Kobalt erhöht die Zugfestigkeit und macht die Legierung gleichzeitig widerstandsfähiger; die Zugfestigkeit wächst noch mit steigendem Kobaltgehalt (über 9–12 %), aber die Walzbarkeit sinkt, wie beim Nickel, von da ab. Die Kobaltlegierungen haben auch nicht, wie die Nickellegierungen über 16–18 % Nickel, die störende Eigenschaft des Seigerns. Doch gehen auch die mechanischen Eigenschaften der Kobaltlegierungen im allgemeinen nicht erheblich über diejenigen des Aluminiums hinaus.

Günstiger verhalten sich viele Mehrstofflegierungen mit Nickel oder Kobalt. So lassen sich die Festigkeitszahlen zum Teil verdreifachen, wenn man neben 8–10 % Kobalt 0,8–1,2 % Wolfram oder 0,6–1,0 % Molybdän zumischt. Auch ein Kupferzusatz wurde hierbei als sehr günstig für hochbeanspruchte Maschinenteile befunden. Noch viele andere Kombinationen dieser Art mit mehr oder weniger Zusatzmengen dieser oder anderer Metalle sind genannt worden, denen neben guten oder hervorragenden mechanischen Eigenschaften zum Teil auch noch große Säurebeständigkeit nachgerühmt wird.

Wie bei Eisen und anderen Metallen, so üben auch bei Nickel und Kobalt kleine Zusätze von Aluminium reinigenden und dadurch verbessernden Einfluß. Bei größeren Zusatzmengen entstehen zwar ebenfalls stahlharte Legierungen, aber von sehr verschiedenem Verhalten; während eine Legierung von 75–80 % Kobalt und 25–20 % Aluminium bröcklich ist und nach wenigen Tagen zu Pulver zerfällt, läßt sich eine ähnliche Nickellegierung (82 % Nickel, 18 % Aluminium) noch hämmern und zerfällt nicht.

Die Legierungen mit Platin, merkwürdig wegen ihres niedrigen Schmelzpunktes, der bei 5–60 % Platin zwischen 635 und 657° liegt, haben keine technische Wichtigkeit. Mit hohen Platingehalten sind sie luftbeständig und lösen sich in den gewöhnlichen Säuren nicht auf. Über diesen Platingehalt hinaus sind sie zerbrechlich.

Für diejenigen Leser, welche sich eingehender mit den Leichtmetalllegierungen befassen möchten, seien, außer den schon erwähnten Literaturquellen, genannt: Bornemann, Die binären Metalllegierungen, I. T. 1909, II. T. 1912; Ledebur-Bauer, Die Legierungen, 1919; P. Reinglass, Chemische Technologie der Legierungen, 1919; insbesondere für Aluminiumlegierungen: Borchers, Aluminium, 1921 und Krause, Aluminium, 1914. Von Zeitschriften bringen fortgesetzt eingehende wissenschaftliche und technische Berichte: die „Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie“, die „Zeitschrift für Metallkunde“ (früher „Internationale Zeitschrift für Metallographie“), die Zeitschrift „Metall und Erz“ (bis 1912 „Metallurgie“) und von auswärtigen unter anderen „Chemical and Metallurgical Engineering“ und „Révue de métallurgie“. [A. 41.]

^{*)} Vgl. hierzu die Berichte von Czochralski in der Z. f. Metallkunde, 1921, S. 479 u. 507.