

Die Aluminium-Industrie

In 2. Auflage neu bearbeitet

von

Dr. Rudolf Debar



Mit 61 Abbildungen

Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

ISBN 978-3-663-06063-5 ISBN 978-3-663-06976-8 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-663-06976-8

Alle Rechte vorbehalten

Softcover reprint of the hardcover 2nd edition 1925

Vorwort.

Charakteristisch für die 1. Auflage dieses Buches war die vom wissenschaftlich-technologischen Standpunkt aus unternommene, knappe Darlegung der elektrolytischen Gewinnung des Aluminiums im Fabrikmaßstabe. Nach der Ansicht berufener Fachleute war dies dem Verfasser Dr. F. Winteler trefflich gelungen. Urteilt doch Prof. Dr. Borchers, Aachen: „Dieses Buch ist jedenfalls die erste Veröffentlichung, welche die Verhältnisse der Praxis in klarster Weise kurz darlegt und den wissenschaftlichen Grundlagen derselben voll Rechnung trägt.“

Auch in der vorliegenden Auflage soll die ursprüngliche Eigenart des kleinen Buches voll gewahrt bleiben. Wenn trotzdem etwas Neues daraus geworden ist, so bedenke man, daß die junge Industrie in den letzten 20 Jahren eine beispiellos rasche Entwicklung durchgemacht hat. Fallen doch in diese Zeit die Erfindungen des Lenkballons und Flugzeugs. Der dadurch sprunghaft steigende Bedarf an Leichtmetall mit neuen unerhörten Eigenschaften mußte in erster Linie vom Aluminium und seinen Legierungen gedeckt werden. Eine Fülle von Problemen tauchte im Bereiche der Aluminiumforschung auf, an die man zur Jahrhundertwende noch gar nicht gedacht hatte. Sie wurden gelöst oder wenigstens der Lösung nahegebracht. Der hoffnungsfrohe, zu neuen Erfolgen drängende Geist aber, der die junge Industrie beseelt, ist außer in den Fachschriften nirgends besser als in der Patentliteratur zu erkennen. Hier spiegeln sich die theoretischen Anschauungen im praktisch Technischen, und manche mehr oder weniger geglückte Lösung einer Aufgabe der Praxis regt zu neuen Fragestellungen an. Diese Fundgrube modernsten Gegenwartswissens wurde nach Möglichkeit ausgebeutet.

Möge jeder, der dieses Buch studiert, etwas von dem Geist der modernen Aluminiumforschung verspüren, der junge Techniker auf diesem Gebiete aber zu nachdenklicher Mitarbeit angeregt werden.

Leipzig, im August 1925.

Dr. Rudolf Debar.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung	1
Das Vorkommen des Aluminiums in der Natur	3
Erster Teil: Die Geschichte des Aluminiums	10—39
1. Von seiner Entdeckung bis zu seiner Gewinnung im fabrikatorischen Kleinbetrieb	10
2. Die Entwicklung der Aluminiumindustrie	31
Zweiter Teil: Die heutige Aluminiumgewinnung in Deutsch- land	40—143
1. Die Herstellung reiner Tonerde aus Bauxit	40
Die Verarbeitung von Aluminiumsilikaten	55
Die Rohstoffanalyse	71
Die Betriebskontrolle.	74
Die Rotschlammanalyse	75
Die Hydratanalyse.	76
Untersuchung der gebrauchsfertigen Tonerde	77
Der Kryolith	78
Fluoraluminium	81
Analyse von Kryolith und Aluminiumfluorid.	81
Die Kohlenelektroden	84
Das Brennen	93
Untersuchung der Elektroden	98
Methoden zur Messung und Berechnung der Stromwirkungen	99
2. Der Ofenbetrieb	102
Die Badkonstruktion.	102
Der Elektrolyt	108
Vorgänge während der Elektrolyse	115
Die Arbeit am Bade	118
Die Kontrolle der Strombelastung der Elektroden	119
Abstand der Anoden unter sich.	120
Höhe des Bades im Verhältnis zum Elektrolyten	121
Messen der Badtemperatur	122
Hintereinanderschaltung von Bädern	124
Untersuchung der Badschmelzen	125
Aufarbeitung unbrauchbar gewordener Schmelzen.	126
Betriebsergebnisse	127
Umschmelzen des Aluminiums	128
Beschaffenheit des Handelsaluminiums und seine Reinigung	133
Wiedergewinnung des Aluminiums aus Abfällen der Fabrikation	136
Analytische Untersuchung des Reinaluminiums	138
Herstellungskosten des Aluminiums	142

	Seite
Dritter Teil: Die Eigenschaften des Aluminiums	144—169
Die physikalischen Eigenschaften des Reinaluminiums	144
Elektrochemische und chemische Eigenschaften des Aluminiums	161
Vierter Teil: Die Aluminiumlegierungen	170—246
Die leichten Aluminiumlegierungen	170
Die schweren Aluminiumlegierungen	203
Das Löten	219
Das Schweißen des Aluminiums	228
Die Oberflächenveredlung des Aluminiums	233
Fünfter Teil: Die Verwendung des Aluminiums und seiner Legierungen	247—295
Herstellung von Gebrauchsgegenständen, allgemeiner Gerätebau	247
Aluminium im Fluzeug- und Luftschiffbau	249
Aluminium im Schiffsbau	250
Aluminium und seine Legierungen als Lagermetall	250
Verwendung des Aluminiums in der chemischen Großindustrie	250
Verwendung der thermischen Eigenschaften des Aluminiums	253
Verwendung des Aluminiums im Bilddruck	254
Aluminium in der Kunst und im Kunstgewerbe	255
Aluminium und seine Legierungen in der Elektrotechnik	256
Verwendung des Reinaluminiums beim Bau von Wechselstrom-Gleichrichtern und elektrolytischen Kondensatoren	263
Aluminium in der Röntgen- und Radiotechnik sowie als Material für galvanische Elemente	266
Aluminium als Überzugsmetall. — Veraluminieren, Kalorisieren, Alitieren	267
Aluminiumbronzen als Anstrichfarbe	272
Aluminium und seine Legierungen in der Feuerwerkerei	272
Aluminothermie für Zwecke der Metalltechnik	275
Aluminium und seine Legierungen in der Metallurgie	278
Aluminiumpulver als Reduktionsmittel	279
Aluminium als elektrolytisches Reinigungsmittel	281
Schluß: Die Aluminiumforschung in Nordamerika. Probleme der Aluminiumforschung	282
Literatur	292
Patentliste zur Aluminiumgewinnung und -verarbeitung	293
Normentafeln Deutsche Industrie-Normen „DIN“	323
Namenverzeichnis	329
Sachverzeichnis	333

Einleitung.

Das Aluminium ist das jüngste unserer Industriemetalle. Es ist zugleich das wirtschaftlich zukunftsreichste, das wissenschaftlich und technisch interessanteste.

Zwar hat die nimmermüde Forschung auch noch nach seiner Entdeckung eine Reihe höchst merkwürdiger Metalle aufgefunden, so das Lithium, das leichteste aller festen Stoffe, das Osmium, doppelt so schwer wie Blei, das Gallium, das in der warmen Hand schmilzt, das Rubidium, das noch bei 10°C weich wie Wachs ist, das Lanthan, das in der Knallgasflamme unter Funkensprühen verbrennt, das Cer, das in unseren Zündsteinen wirksam ist, das Beryllium, das den elektrischen Strom besser leitet als Silber, und vor allem das märchenhafte Radium. Keines von diesen besitzt jedoch die Eigenschaften zu einem Nutzmetail großen Stils. Sie sind alle mehr oder weniger Sonderlinge im Reiche der Metalle. Und die wenigen Lücken im periodischen System der Elemente, die noch nicht ausgefüllt werden konnten, lassen es ausgeschlossen erscheinen, daß einigermaßen häufigere Grundstoffe unentdeckt geblieben sind. Große Seltenheit aber schließt umfänglichere industrielle Ausbeutung ohne weiteres aus.

Beim Aluminium ist dies anders. Hohe technische Eigenschaften, deren Durchforschung noch in den Anfängen steckt, und ein massenhaftes Vorkommen eröffnen ihm Aussichten, in die Reihe der Werkstoffe ersten Ranges einzurücken.

Vor weniger als 100 Jahren noch unentdeckt, vor 50 Jahren mit einigen Kilogrammen auf dem Markt, wird es noch in diesem Jahre die 200000-t-Linie nach stürmischem Aufstieg erreichen. Damit aber hat es die Erzeugung wichtiger Metalle, wie die des Nickels, des Kobalts, des Mangans, des Wolframs, des Silbers, des Quecksilbers und anderer zahlenmäßig um ein Vielfaches übertroffen und selbst das Zinn mit seiner Produktion von 130000 t weit hinter sich gelassen. Zwar steht es zurzeit noch dem Kupfer, dem Zink und Blei, die sämtlich mit einer Jahreserzeugung von rund 1000000 t ihren gewichtigen Nutzwert erweisen, erheblich nach. Aber seine beispiellos rasche Entwicklung zum Industriemetail — seine Produktion hat sich im letzten Jahrzehnt fast verzwölffacht, während

sich die von Kupfer, Blei, Zink und Zinn nur verdoppelt hat —, läßt uns schon heute ahnen, daß eine in naher Zukunft liegende umfassende industrielle Ausnutzung seiner merkwürdigen Eigenschaften es an die Spitze aller Nichteisenmetalle führen wird.

Dafür spricht schon die Massenhaftigkeit seines Vorkommens, an die diejenige der alten Nutzmanmetalle Kupfer, Zink und Blei nicht im entferntesten heranreicht. Übertrifft es doch in dieser Hinsicht sogar das Eisen, dessen Jahreserzeugung von 100 000 000 t besser als Worte seine überwältigende Bedeutung erweisen, an die allerdings die des Aluminiums sobald nicht herankommen dürfte.

Und doch ist eines zu bedenken: Das Aluminium ist erst seit knapp 100 Jahren in den Händen der naturwissenschaftlichen Denker und Techniker. Der graue Werkstoff, das Eisen, ist dagegen in einer steten Entwicklung von mehr als 5000 Jahren zu dem Atlas geworden, der eine ganze Kulturwelt trägt.

Zwar sichern und erweitern noch immer neue technische Erfindungen und neue Entdeckungen auf metallurgischem Gebiet diese einzigartige Stellung.

Man denke nur an die Erzeugung der Edelstähle, die an Härte, Biegsamkeit und anderen wertvollen Eigenschaften ihres gleichen suchen, oder an den uralten Traum vom nicht rostenden Stahl, der in bestimmten Nickelchromstählen erst jüngst, allerdings gerade mit Hilfe des durch Aluminium möglichen Thermitprozesses, seine Erfüllung fand und so den unscheinbaren Werkstoff in den Rang eines Edelmetalls erhob.

Aber 100 000 000 t Jahreserzeugung — und noch immer wächst der Bedarf! Diesem noch immer steigenden Verbrauch dürften an dem greifbaren Weltvorrat allmählich unübersteigliche Grenzen gesetzt sein; denn die Erzlagerstätten der Welt sind nicht unerschöpflich. Gewissenhafte Bestandsaufnahmen und sorgfältige Berechnungen der Geologen haben diese Tatsache festgestellt. Einmal muß daher die Zeit kommen, daß das wachsende Gebäude der Kultur nicht mehr allein auf den Schultern des Eisens zu ruhen vermag.

Doch nicht allein der Weltbedarf für alte, längst bekannte Zwecke stellt der Aluminiumverwertung wichtige Aufgaben. Die neueste Entwicklung der Technik, die sich anschickt, mit kühnem Wagemut die Luft zu erobern, verlangt nach einem Werkstoff mit neuen, unerhörten Eigenschaften. Die Festigkeit des Eisens möchte sich mit der Leichtigkeit des Holzes vereinigen, Bedingungen, die eben nur durch die Leichtmetalle, ganz besonders durch das Aluminium und seine neueren Legierungen erfüllt werden.

Aus diesen Tatsachen und Überlegungen heraus kann man daher sagen, ohne phantastisch und überschwenglich zu erscheinen,

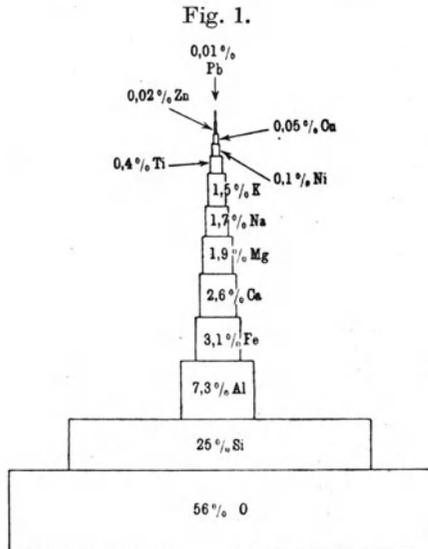
daß das Aluminium befähigt und berufen ist, die metallene Grundlage unserer Kultur ins ungemessene zu verbreitern und daß allem Anschein nach mit ihm eine neue Großmacht in der Welt der Metalle heraufkommt.

Das Vorkommen des Aluminiums in der Natur.

Kohlenstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff, Phosphor, Schwefel und allenfalls Calcium sind die wichtigsten Bausteine der organischen Welt. Das Aluminium ist nicht unter ihnen. Im Körper von Pflanze und Tier ist es kaum anders als zufällig und spurenhaltig anzutreffen. Nur in den Aschen einiger niederen Pflanzen hat man es regelmäßig gefunden¹⁾.

Um so gewaltiger ist seine Bedeutung in der Welt des Anorganischen. Aluminium, Silicium und Sauerstoff sind die alles beherrschenden Elemente unserer Erdkruste, die Baustoffe für den Wohnplatz des Lebens.

Der 14. Teil, genauer 7,3 Proz. der festen Erdkruste bestehen nach zuverlässigen Berechnungen der Geologen aus Aluminium. Nebenstehende Zeichnung gibt einen Überblick über die Verbreitung



Verbreitung der Grundstoffe in der Erdkruste.

der wichtigsten Grundstoffe, die allerdings nicht oder nur ausnahmsweise in freiem Zustand, sondern fast ausschließlich in Form ihrer Verbindungen mit anderen Elementen angetroffen werden. Das Aluminium im besonderen ist noch nie und nirgends gediegen vorgefunden worden. Wir sehen, daß es hinsichtlich der Häufigkeit seines Vorkommens an dritter Stelle steht und nur von den beiden Nichtmetallen Sauerstoff und Silicium übertroffen wird, mit denen es sich, zu Silikaten vereint, als schwerst schmelzbare Schlacke zuerst aus dem glutflüssigen Magma der erstarrenden Erde abschied.

Die größten und schönsten Berggipfel der Welt — die wundervolle Spitzsäule des Matterhorns und der majestätische Montblanc in

¹⁾ So sollen einige Lycopoden, die *Corydalis bulbosa*, der Champignon, das Sphagnum Aluminium reichlich aus dem Boden aufnehmen. Der Aschengehalt einiger Flechten soll bis zu 12 Proz. aus Tonerde bestehen.

den Alpen, der unbesteigliche Mount Everest im Himalaja, der Chimborasso in den Kordilleren —, um nur einige Beispiele zu nennen, sind aus aluminiumhaltigen Silikaten entstanden. Die gewaltigsten Gebirge mit ihren wuchtigen Massiven aus Granit, Syenit und Diorit, aus Basalt, Phonolith, Porphyr und Melaphyr danken dem Aluminium ihre Existenz und könnten unter Voraussetzungen, die zurzeit allerdings noch nicht völlig erfüllt sind, zu unerschöpflichen Fundgruben desselben werden.

Aus den Vulkanen quillt es in glühenden Lavaströmen. Und wo Wind und Wasser und der Wechsel von Wärme und Kälte im Laufe der Jahrzehntausende ganze Gebirge abgetragen und in die Niederungen geführt haben, da liegt es als gelber Lehm oder weißer Ton und harrt der Stunde, die es im Schimmer des metallischen Zustandes erstehen läßt.

Die außerordentliche Verbreitung des mit Silicium und Sauerstoff zu Silikat vereinten Aluminiums wird für die Menschheit aber noch dadurch von ganz besonderer Bedeutung, daß sich diese Verbindungen durch hohe technische Eigenschaften auszeichnen.

Aluminiumsilikate sind wegen ihrer Festigkeit und Wetterbeständigkeit der älteste Werkstoff des Menschen. Aus ihnen schuf schon der Urmensch seine Steinhämmer und Äxte. Aus ihnen türmten die Pharaonen ihre gigantischen Grabpyramiden. Aus ihnen errichteten die Urbewohner der nordischen Länder ihre rätselhaften Runensteine und bauten die sagenhaften Azteken Mexikos der vergöttlichten Sonne gewaltige Tempel.

Von fast noch größerer Bedeutung für den Menschen sind aber die zu Lehm und Ton verwitterten Aluminiumsilikate. Sie lieferten den wichtigsten Baustoff aller Zeiten. Die armseligen Hütten im fernen sibirischen Dorfe sind genau so aus ihm geschaffen, wie die prunkvollen Paläste in den Hauptstädten der Welt. Schon des alten Babylon Stadtmauern und Königspaläste waren aus diesem Material.

Die merkwürdigen Eigenschaften des Tons, seine Formbarkeit und die Fähigkeit, durch Brennen steinhart zu werden, wurden frühzeitig erkannt. Die Gräberfunde, die Scherben von Töpfen und Urnen, von Tellern und Schüsseln, diese stummen Zeugen aus der Frühperiode menschlicher Kultur, reden in diesem Sinne eine beredte Sprache. Es ist sicherlich ein weiter Weg von den ersten Erzeugnissen eines primitiven Töpferhandwerkes bis zu den wundervollen Schöpfungen der modernen Keramik, wie sie unser Auge in den köstlichen Vasen und Figuren aus edelstem Porzellan entzücken: immer ist es Aluminiumsilikat, das dem Menschen in seinem Drange, Nützliches und Schönes zu schaffen, zu Gebote steht.

Bedenken wir weiter, daß nicht nur heute der kleine Schulbub auf Tafeln von Schiefer, gleichfalls einem Aluminiumsilikat, seine

ersten Schriftzeichen mit unsicherer Hand eingrät, sondern daß auch des alten Babylon staunenswertes Wissen und Können auf Tafeln von gebranntem Ton niedergelegt ist und dadurch sicherer als durch Pergament oder Papier die Leistungen eines längst dahingesunkenen, hochbegabten Volkes der Nachwelt überliefert worden sind, so begreifen wir, wie innig das Aluminium als Silikat mit der Kulturentwicklung des Menschengeschlechtes verknüpft ist. Aber damit ist die Bedeutung und die Zahl der Aluminiumverbindungen keineswegs erschöpft.

Aluminiumsulfate, insbesondere die große Klasse der Alaune waren schon im griechischen und römischen Altertum bekannt. Ihre Spur verliert sich in kulturgeschichtlicher Hinsicht im Dunkel der vorgeschichtlichen Zeit. Bezieht sich doch der Name Alaun, aus dem Davy später den Namen Aluminium schuf, auf einen uralten indogermanischen Stamm *alud* oder *alup* = herb-zusammenziehender Geschmack, wodurch allerdings eine charakteristische Eigenschaft der genannten Aluminiumverbindungen sprachlich festgelegt worden ist. Der Alunit, Alaunstein, $K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 6H_2O$, ein vulkanisches Produkt der Einwirkung von schwefliger Säure auf Laven, bildet den Rohstoff zur Alaungewinnung. So dient noch heute ein uraltes Alunitlager bei Civitavecchia der Erzeugung des „römischen Alauns“.

Auch Kalialaun, $K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$, findet sich vielfach auf schwefelkieshaltigen Schiefern, den Alaunschiefern, als Auswitterung.

Seltener sind die Phosphate und Fluoride des Aluminiums, z. B. der Fluëllit in der Natur vertreten.

Von größerer Bedeutung, gerade für die Aluminiumgewinnung, ist ein Doppelsalz, der Kryolith, Eisstein, $AlF_3 \cdot 3NaF$, geworden, der in Ivigtut in Grönland, hart an der Westküste, ein mächtiges Lager bildet, das seit 1800 abgebaut wird.

Sogar in die Klasse der Edelsteine haben die Aluminiumverbindungen ihre Vertreter entsendet. Als freies Aluminiumoxyd im Korund zu durchsichtigen wasserklaren Kristallen ausgebildet, im Amethyst durch Spuren von Mangan violett, im Saphir durch Kobalt blau gefärbt, im Rubin durch geringe Mengen von Chrom in rötlichem Feuer erstrahlend und im Smaragd durch Cr_2O_3 in herrlichstem Grün aufleuchtend, besitzt die Menschheit Schmucksteine von seltener Schönheit und staunenswerter Härte, die an Wert nur von den besten Vertretern des Diamanten übertroffen werden.

Mit Schmirgel, einem durch Fe_2O_3 und Fe_3O_4 stark verunreinigten, unscheinbaren Korund, also auch einem Abkömmling der verhältnismäßig weichen Aluminiummetalle, schleift und poliert, sie den härtesten Stahl. Im Ultramarin, einem Natrium-Aluminium-

sulfosilikat, besitzt sie eine prachtvolle blaue Farbe, die gegen Säuren und Laugen in gleicher Weise beständig und in den reineren Formen sogar als Lasurstein, **Lapilazuli**, ein sehr geschätzter Edelstein ist. Auch die Spinelle vom Grundtypus $MgO \cdot Al_2O_3$, die Aluminate des Magnesiums und eventuell einiger anderer Metalle sind in ihren reinen Varietäten beliebte Schmucksteine.

Als Rohstoffe für die in Rede stehende Aluminiumgewinnung können die zuletzt genannten Verbindungen schon wegen ihrer Kostbarkeit nicht in Betracht kommen. Aber auch die Phosphate und die seit grauer Vorzeit bekannten Sulfate und Alaune scheiden im allgemeinen aus, wenn auch z. B. die Alunitlagerstätte von Beregszasz in der Tschechoslowakei neuerdings abgebaut wird, um daraus trotz Verkieselung des Materials Kalisalze und Tonerde zur Aluminiumgewinnung herzustellen. Selbst die in ihrer überwältigenden Mannigfaltigkeit vorkommenden Aluminiumsilikate finden in der Praxis zurzeit noch keine Verwendung in großem Umfang, wenn auch schon an dieser Stelle gesagt werden muß, daß gerade die Frage der Aluminiumgewinnung aus Aluminiumsilikaten von zahlreichen Forschern aller Kulturnationen auf das nachdrücklichste bearbeitet wird und ihre Lösung jetzt so weit gediehen zu sein scheint, daß wenigstens gewisse Aluminiumsilikate den Abbau bis zur reinen Tonerde in wirtschaftlich möglicher Weise im Großbetriebe gestatten. So wird z. B. der Labradorstein, ein Kalknatronfeldspat, der in Skandinavien reichlich vorkommt, nach einem Verfahren von Prof. Goldschmidt, Christiania, in einer Aluminiumfabrik Norwegens neuerdings, wie es heißt, mit bestem wirtschaftlichen Erfolge bis zur reinen Tonerde abgebaut und auf Aluminium verarbeitet.

Die weitaus wichtigste Rolle als Rohstoff für die Aluminiumgewinnung spielen jedoch zurzeit die Mineralien, die Tonerde, wenn auch mit anderen Verbindungen vermischt, aber doch in unverbundenem Zustand enthalten.

Tonerde, Aluminiumoxyd oder -hydroxyd als Felsart¹⁾ gibt es nicht. Nur dort kann man sie erwarten, wo tonerdehaltige Silikate, besonders Basalte und Porphyre, unter dem Einfluß der Atmosphärrilien verwittern oder wo durch vulkanische Einflüsse gebildete Schwefeldämpfe aluminiumhaltige Gesteine zersetzt haben.

Berthier beschrieb als erster 1821 in der Nähe der Stadt Beaux bei Arles in Südfrankreich vorkommende bolusähnliche Verwitterungsprodukte mit 52 Proz. Tonerde, 27 Proz. Eisenoxyd und 24 Proz.

¹⁾ Dagegen spricht auch nicht, daß nach Dr. Koert in Togo die Gipfelzentren des Ayugebirges aus einem wahrscheinlich aus Gabbro entstandenen erhärteten Bauxit bestehen.

Wasser und belegte sie mit dem Namen Bauxit. Dieser Bauxit wurde 50 Jahre später als der brauchbarste Rohstoff zur Aluminiumgewinnung erkannt. Er ist es noch heute. Die andere Gewinnungsmethode aus Kaolin tritt dagegen völlig zurück. Die große wirtschaftliche Bedeutung des als Bauxit bekannten Mineralgemisches veranlaßte die geologische Forschung, sich eingehend mit dieser Form der Verwitterung tonerdehaltiger Gesteine zu befassen, die selbständig neben der Kaolinisierung und Hämatisierung in Erscheinung tritt. Rinne beschreibt sie in seiner „Gesteinskunde“ (4 Aufl., S. 210) als eine der „Lateritentstehung entsprechende Erscheinung“, bei der es sich um eine Hydrolyse von Silikaten handelt, denen ganz besonders leicht der Feldspat verfällt. „Bauxit ist im wesentlichen Eisenoxydgel enthaltendes Tonerdegel. Die Massen sind also kolloidal, zum Teil mit kristallinen Beimengungen, wie Hydrargillit, $\text{Al}(\text{H}\text{O})_3$, Diaspor, $\text{Al}(\text{H}\text{O})\text{O}$, und mannigfachen anderen Stoffen.“ Aus dieser Erklärung des Begriffes Bauxit ergibt sich, daß unter ihm tonerdehaltige Mineralien verschiedenster Abstammung und schwankender chemischer Zusammensetzung verstanden werden, die naturgemäß auch nicht alle für die Zwecke der Aluminiumerzeugung gleich brauchbar sind.

Nachdem man die Natur der bauxitischen Verwitterung klar erkannt hatte und sich ihrer wirtschaftlichen Bedeutung bewußt geworden war, suchte und fand man ihre Produkte in mehr oder minder großen Lagerstätten in allen Teilen der Welt, so in Arkansas (1893), dem größten und wichtigsten Bauxitgebiet der Welt, möglicherweise nur übertroffen durch ein Vorkommen in Vorderindien, in Alabama und Georgia in den Vereinigten Staaten von Nordamerika, in Alaska, in Britisch-Indien, in Holländisch und Britisch-Guyana, im Inverelldistrikt von Australien, im Ayugebirge in Togo, bei Belfast in Irland, in Griechenland und Italien, namentlich in der Provinz Kalabrien, in Südfrankreich in der Gegend der Rhonemündungen am Südhang der Westalpen, in der Gegend von Pitten bei Wiener-Neustadt in Niederösterreich, in Steiermark, Kärnten, Krain, in Dalmatien, in Jugoslawien, der Herzegowina, Bosnien, Slowenien und vielleicht auch Montenegro, in Wochein (daher für Bauxit auch Wocheinit) und besonders im Bihargebirge in Siebenbürgen.

Die berühmtesten und weitaus bekanntesten Lagerstätten Europas befinden sich in Savoyen am Westhange der Alpen im Departement de Var, in les Bouches du Rhône und l'Hérault, in der Gegend von Luchthornet und Brignol. Die Lager haben eine durchschnittliche Mächtigkeit von 8 m, bisweilen sogar 30 bis 40 m. Der Tonerdegehalt dieses Bauxits beträgt 70 Proz. und gehört, da Bauxite über 50 Proz. Tonerdehydrat und unter 3 Proz. Kieselsäure

für Aluminiumgewinnung besonders brauchbar sind, zu den besten Aluminiumerzen, die man kennt. In lebhaftester Entwicklung ist der südosteuropäische Bauxitbergbau begriffen. Über dalmatinische und istrische Bauxitvorkommen berichten italienische Blätter (nach Berg- und hüttenm. Rundschau 1921, S. 17): „Die Bauxitlager Dalmatiens und Istriens wurden erst im Kriege bearbeitet. 1916 gab es nur kleine Anfänge, 1917/18 bestanden schon umfangreiche Anlagen. So wurden in Dalmatien in Dernio 45 000 t, in Arbe 40 000 t, in Pago 10 000 t, während in Istrien (Montana, Visinada, Albona) 30 000 t, in Veglia 30 000 t, in Cheerio 10 000 t gefördert. Bisher wurden nur die Vorkommen in der Nähe des Meeres auf wenige Meter Tiefe abgebaut, doch ist das Gesamtvorkommen sehr ergiebig.“

Ein vorzügliches Aluminiumerz mit 58 Proz. Al_2O_3 und nur 1,5 Proz. SiO_2 liefern unter anderem die Bauxitgruben bei Kalun (Drnick), auf der Insel Rab an der Nordküste von Dalmatien, bei Tschitluk (Herzegowina), Trebinje (Slavonien), Boxingska Bistriza. Nicht weniger als zwölf Gesellschaften sorgen für Abbau und Vertrieb dieser osteuropäischen Aluminiumerze. Die größten derselben sind: die Jugoslawische Bauxit-A.-G. in Split, die Aluminium-A.-G. in Zagreb (heimisches und deutsches Kapital), die Adria Bauxita-A.-G. in Zagreb (in italienischen Händen), die Gea-A.-G. in Zagreb (heimisches und deutsches Kapital), die Jadranska Bauxit-A.-G. in Split (französisches und amerikanisches Kapital). Ferner ist zu nennen die Tapolcza Bergbau-A.-G. in Budapest. Das vermutlich reichste Bauxitvorkommen Europas, die riesigen Lager des Bihar-komitats in Siebenbürgen aber beuten die seit Kriegsende rumänischen Alumina Co. und Bauxita Co. aus.

In Deutschland hat man bisher nur ein kleines, beinahe erschöpftes Lager bei Hadamar am Vogelsberg in Hessen gefunden, dessen Abbau dazu noch mit erheblichen Kosten verbunden ist. Über diese einzige Lagerstätte Deutschlands berichtet Harrasowitz (Metall u. Erz, S. 18): „Durch Bodenfluß von dem Orte ihrer Bildung entfernt, liegen die Bauxite des Vogelsberges auf sekundärer Lagerstätte in Mulden der pliozänen Landoberfläche und sind vielfach in rote Erde, aber auch verschiedenfarbige bunte Erden eingebettet. Zum Teil liegen Rollager verschiedenen Alters vor. Der Bauxit ist nicht letzter Verwitterungsrückstand, sondern kann vollständig in Roterde zerlegt werden, da die Tonerde weitgehend wandert. Der Bauxitbildung geht nun Kaolinisierung der Basalte voraus. Daher findet man in den Bauxiten nie frische Kerne von Basalt. Die Bauxitbildung fand auf flachen Höhen statt, von denen die primäre Verwitterungsrinde rasch abgetragen wurde, so daß die Lagerstätten jetzt tiefer liegen. Die Hauptverbreitung der Bauxite des Vogels-

berges hängt vielleicht mit besonderen klimatischen Erscheinungen zusammen.“

Es ist bedauerlich, daß auf deutschem Boden größere Bauxitvorkommen bisher nicht entdeckt werden konnten. Die deutsche Aluminiumerzeugung ist infolgedessen in erster Linie auf französische und italienische und in zweiter Linie auf die schwieriger zu verarbeitenden siebenbürgischen, dalmatinischen und istrischen Bauxite angewiesen. Diese Tatsache ist einer selbständigen heimischen Aluminiumerzeugung bisher zwar noch nicht nachteilig gewesen. Doch ist der Rohstoffbezug dadurch unter die Kontrolle von Völkern gestellt, die uns nicht allgemein günstig gesinnt sind. Die deutsche Aluminiumindustrie könnte z. B. durch Zölle derart in ihrem Rohstoffbezug behindert werden, daß ein Wettbewerb mit Völkern, die in dieser Beziehung günstiger gestellt sind, unmöglich würde.

Nun betragen zwar die Kosten des Rohstoffes zurzeit nicht mehr als 7 bis 10 Proz. des erzeugten Metalles. Gleichwohl hängt die Zukunft einer unabhängigen deutschen Aluminiumproduktion in nicht geringem Maße mit davon ab, ob es möglich wird, an Stelle der fremden Bauxite die in heimischer Erde reichlich vertretenen Tone zur Gewinnung der nötigen Tonerde auf wirtschaftlich durchführbare Weise zu verarbeiten.

Erster Teil.

Die Geschichte des Aluminiums.

1. Von seiner Entdeckung bis zu seiner Gewinnung im fabrikatorischen Kleinbetrieb.

Metallisches Aluminium ist erst seit knapp 100 Jahren bekannt. Bei seiner ungeheuren Verbreitung in Gestalt von Silikaten und deren hoher Bedeutung in kultureller Hinsicht ist dies im höchsten Grade merkwürdig. Es findet sich zwar nie und nirgends gediegen in der Natur. Aber Eisen, Blei und Zinn kommen auch nicht gediegen vor und werden gleichwohl seit Jahrtausenden gewonnen. Das flüssige Quecksilber lernte man schon im dritten Jahrhundert nach Christo aus seinen Schwefelverbindungen abzuscheiden, und Zink, Kobalt und Nickel fing man schon vor 400 Jahren an zu verhütten.

Durch die sorgfältige Beobachtung der metallurgischen Vorgänge bei der Verhüttung lernte man nicht nur die empirisch gewonnenen Erzeugnisse mehr und mehr verbessern, sondern entdeckte auch neue Metalle, wie das Wismut und das Antimon. Das Aluminium aber trat dem Hüttenmann niemals entgegen. Es war verbunden mit Sauerstoff und Silicium und konnte auch nicht durch die größte Hochofenglut von seinen Begleitern getrennt werden. Es wanderte als Schlacke auf die Halde. Gleichwohl ahnte man schon lange vor seiner Entdeckung, daß in der Tonerde, wie in allen „Erden“, ein Metall stecken müsse. R. Bacon sprach schon 1760 diese Überzeugung aus, die sicherlich von vielen Gelehrten der damaligen Zeit geteilt wurde.

Es fehlte jedoch an Kräften und Methoden, die die notwendige Reduktionsarbeit zu leisten vermochten. Beim Aluminium ist dies besonders verständlich, wenn man bedenkt, daß der Schmelzpunkt der Tonerde bei 2080° C liegt und daß die bei der Bildung eines Grammoleküls Al_2O_3 entwickelte Wärmemenge 380200 Grammkalorien beträgt, während die entsprechende Zahl des FeO nur 65700, die des CuO gar nur 39700 ausmacht.

Da erfand Volta um die Wende des 18. Jahrhunderts seine elektrische Säule, die Sir Davy alsbald mit blendender Meisterschaft in der chemischen Scheidekunst zu handhaben wußte. So entdeckte

er mit ihrer Hilfe seit 1807 in rascher Folge die Alkalimetalle Kalium und Natrium, die Erdalkalien Barium, Strontium, Calcium, Magnesium sowie das merkwürdige Bor. Aber vergeblich versuchte er seine hohe Kunst an der hartnäckig spröden Muttersubstanz des Aluminiums, der Tonerde. Trotz seines Mißerfolges gab er dem unentdeckten Metall im Frohgefühl einer späteren sicheren Gewinnung nach der Alaunerde (d. i. Tonerde) den bei allen Kulturvölkern anerkannten Namen Aluminium.

Fast 20 Jahre später nahm der bedeutende dänische Forscher Oerstedt die Davyschen Versuche mit besserem Erfolg wieder auf.

Davy hatte versucht, das Aluminium durch Zerlegung seines Oxyds mit Hilfe glühender Kaliumdämpfe zu erhalten. Der berühmte schwedische Chemiker Berzelius hatte unter Abänderung des Davyschen Verfahrens die Kaliumdämpfe statt auf das Oxyd des Siliciums auf dessen Fluorid angewandt und ein braunes Pulver erhalten, das sich als metallisches Silicium erwies. Dieser Erfolg brachte Oerstedt auf den glücklichen Gedanken, die Zerlegung der Tonerde vielleicht dadurch zu erreichen, daß diese zuvor in Chlorid verwandelt würde, eine Verbindung, die damals noch unbekannt war. Oerstedt versuchte die Umsetzung des Oxyds durch Chlor zunächst ohne Erfolg. Erst als er seine Methode änderte, indem er Kienruß unter die Tonerde mischte, und über das glühende Gemisch Chlor leitete, erhielt er das wasserfreie Aluminiumchlorid. Die Oerstedtsche Methode, die zu reduzierende „Erde“ mit innig vermischter Kohle zu glühen, hat sich noch weiter glänzend bewährt: So hat Fr. Wöhler auf diese Weise „schon über der Spiritusflamme Chlortitan aus Rutil, Chlortantal aus Tantalsäure, Chlorbor aus kalzinierstem Borax“ dargestellt. Die Reduktion des Aluminiumchlorids zu metallischem Aluminium im Wasserstoffstrom gelang nun freilich, wie Oerstedt erhofft hatte, nicht. Er glaubte es aber durch Einwirkung von Kaliumamalgam erreicht zu haben, wodurch er nach seinen Angaben ein Amalgam des Aluminiums erhielt, das an der Luft schnell oxydierte und sich bei der Destillation in Quecksilber und zurückbleibendes Aluminium zerlegte. Von dem letzteren sagt er nur, daß es an Farbe und Glanz dem Zinn ähnlich sei. Oerstedt veröffentlichte seine Forschungen in „Oversigt over det Kgl. Danske Videnskabernes Selskab Forhandling og dets Medlemmers Arbejder“ vom 31. Mai 1824 bis 31. Mai 1825. Friedrich Wöhler, den selbst das Problem der Tonerdezerlegung in dieser Zeit beschäftigte, besuchte den dänischen Forscher 1827 in Kopenhagen und wurde von diesem ermuntert, noch mehr Versuche mit Aluminiumchlorid anzustellen. Wöhler tat dies. In Poggendorffs Annalen der Physik und Chemie vom Jahre 1827 schreibt er jedoch: „Ich habe den Versuch von Oerstedt wiederholt, bekam aber dabei kein recht

bestimmtes Resultat. Bei der Destillation des Kaliumamalgams, nachdem es mit Chloraluminium erhitzt worden war, blieb zwar zuletzt eine graue geschmolzene Metallmasse zurück, die sich aber bei Verstärkung der Hitze bis zum Glühen in grünen Dämpfen verflüchtigte und als reines Kalium überdestillierte. Ich habe mich daher nach einer anderen Methode umgesehen, ohne aber hiermit sagen zu wollen, daß es nach jener nicht glücke, Aluminium zu reduzieren.“ In einem Briefe an Berzelius aus dieser Zeit sagt er: „Was Oerstedt für Aluminium hielt, ist ganz gewiß nichts anderes gewesen als ein aluminiumhaltiges Kalium.“ Oerstedt selbst scheint schließlich über die Richtigkeit seiner Beobachtungen Zweifel gehegt zu haben, zumal ja auch Wöhler, dem 1827 die Zersetzung des Chloraluminiums durch reines Kalium in einwandfreier, von jedermann nachzuprüfender Weise gelungen war, ein graues Pulver erhielt, das sich nicht weiter zusammenschmelzen ließ, auch nicht bei einer Hitze, bei der Gußeisen ins Schmelzen kommt.

Man hat aus der auffallenden Feststellung Wöhlers gefolgert, daß dieser überhaupt kein reines Aluminium in den Händen gehabt habe. Mit Recht bemerkt hierzu Borchers in seinem Werke „Metallhüttenwerke, Bd. III, Aluminium“: „Nicht nur das Aluminium, auch verschiedene andere, länger bekannte Metalle zeigen dieselbe Erscheinung, daß sie sich nur mit größter Schwierigkeit aus dem pulverförmigen Zustand zu zusammenhängenden Massen verschmelzen lassen. Schon die feinste Oxydhaut genügt, um feine Metalltröpfchen am Zusammenschmelzen zu verhindern.“ In einer zweiten Veröffentlichung (Liebig's Annalen der Chemie und Pharmazie 1845) bestimmt dann Wöhler noch eine ganze Reihe chemischer und physikalischer Eigenschaften des neuen Metalles, die ganz deutlich erkennen lassen, daß er bereits recht reines Material mit seiner Methode zu erhalten wußte. Beide Abhandlungen Wöhlers sind richtunggebend in dieser ersten Periode der Aluminiumgewinnung gewesen. Die späteren Erfahrungen haben gezeigt, daß er zumindest als der Entdecker des ersten entwicklungsfähigen Verfahrens der Aluminiumgewinnung zu bezeichnen ist. Ob er freilich schlechtweg als der alleinige Entdecker des Aluminiums anzusprechen ist, erscheint nach den obigen Ausführungen zweifelhaft. Nach neueren Untersuchungen Foghs in Kopenhagen (Det Kgl. Danske Videnskabernes Selskab Mathematisk-fysiske Meddelelser 1921) wird es sehr wahrscheinlich gemacht, daß Oerstedt bereits 1825 tatsächlich, allerdings winzige Mengen des gesuchten Metalles in den Händen gehabt hat. Es ist Fogh gelungen, durch Feststellung des richtigen Mengenverhältnisses zwischen Chloraluminium und Kaliumamalgam die Reduktion bis zum Aluminiummetall durchzuführen. Die wenigen und spärlichen Fragmente, die der literarische Nachlaß Oerstedts

über diese Frage enthält, lassen freilich mit aller Deutlichkeit erkennen, daß der Forscher bis zu einer in ihren Bedingungen klar erkannten Methode der Aluminiumgewinnung nicht durchgedrungen ist. Dies bleibt vielmehr Wöhlers Verdienst. Es wäre ein müßiger Streit, die Priorität des einen oder anderen Forschers aus einer mehr oder minder subjektiven Überzeugung heraus behaupten zu wollen. Viel wertvoller scheint uns vielmehr die Tatsache zu sein, daß die Entdeckung des Aluminiums weder dem Genie eines einzelnen Mannes, noch dem Spiel eines glücklichen Zufalls, sondern vielmehr der mühevollen und beharrlichen Gelehrtenarbeit einer die Enge nationaler Gebundenheit überspringenden Kulturgemeinschaft der Völker zu danken ist.

Mit Wöhlers Brief an Liebig vom 24. Januar 1845 (Hoffmann: Liebig's und Wöhlers Briefwechsel, S. 251) können wir das Ergebnis dieser ersten Periode in der Geschichte des Aluminiums charakterisieren: „Ich habe gefunden, daß man das Aluminium in geschmolzenen, stecknadelkopfgroßen Kugeln erhalten kann, völlig geschmeidig, zinnweiß, in Kalilauge unter Wasserstoffentwicklung leicht löslich.“

Die wesentlichen Eigenschaften und das Verhalten des Aluminiums waren ermittelt (Wöhler, Lieb. Ann. d. Chem. u. Pharm. **53**, 422, 1845).

Das Problem einer technischen Verwertung des neuen Metalles schien verlockend. Allein die Gewinnungsmethode konnte, so wie sie war, nur zu geringen Mengen führen. Der Gedanke an eine technische Verwertung konnte damals noch nicht verwirklicht werden.

Erst das Jahr 1854 brachte die notwendige Entwicklung. Und wiederum sind es zwei Namen, die besonders genannt zu werden verdienen, der Franzose Henry Sainte Claire Deville und der Deutsche Robert Wilhelm Bunsen. Letzterer überraschte in dem genannten Jahre die wissenschaftliche Welt mit der erstmaligen Darstellung des Aluminiums auf elektrolytischem Wege. 40 Jahre nach Davys vergeblichen Anstrengungen, mit Hilfe des elektrischen Stromes zu dem neuen Metall zu gelangen, kam dieser zu seinem aufsehenerregenden Erfolg. 30 Jahre freilich vergingen noch, bis die technische Gewinnung auf diesem neuen Wege glückte. Es fehlte ja damals noch an einer billigen und bequemen Methode, die notwendigen elektrischen Kräfte für eine Massenfabrikation zu beschaffen. Erst die gewaltige Entwicklung der Elektrotechnik, insbesondere die Erfindung der Dynamomaschine schuf die hierzu nötigen Voraussetzungen. Zunächst fiel daher nicht Bunsen, sondern Deville, der die alte chemische Methode Wöhlers verbesserte, der wirtschaftliche Erfolg zu. Ihm gebührt unstreitig das Verdienst, erstmalig die große industrielle Bedeutung des Aluminiums klar erkannt

und seine fabrikmäßige Gewinnung durch wertvolle Verbesserungen der Herstellungsweise möglich gemacht zu haben. Seine Versuche wurden durch Napoleon III. nachdrücklichst unterstützt, der zu Beginn des Jahres 1855 anordnete, daß in der chemischen Fabrik zu Javelle Versuche über die Darstellung des Aluminiums im großen auf seine Kosten angestellt würden. Hierzu stellte er einen unbeschränkten Kredit zur Verfügung (30000 Fr. wurden in Anspruch genommen).

Die schöne weiße Farbe des Aluminiums, die Tatsache, daß es sich beim Schmelzen und Gießen kaum oxydierte und auch in siedendem Wasser ziemlich blank blieb, seine Hämmerbarkeit, Beständigkeit an der Luft, sein geringes spezifisches Gewicht und seine bedeutende Zähigkeit ließen vermuten, daß es bei hinreichend billigem Preise instande sein würde, für viele Zwecke das Silber zu ersetzen, und daß man aus demselben eine Reihe nützlicher Gegenstände werde fertigen können. Insbesondere hoffte Napoleon seine Soldaten mit Panzern, Helmen und sonstigem Kriegsgerät aus Aluminium ausrüsten zu können.

Schon im Jahre 1855 erschien das neue Metall als industrielles Produkt auf der Weltausstellung in Paris, indem unter den Erzeugnissen der Porzellanausstellung zu Sèvres auch einige Barren Aluminium und die zu deren Darstellung dienenden Rohstoffe zu sehen waren.

Die Hoffnungen und Erwartungen, die die damalige gebildete Welt auf das neue Metall gesetzt hatte, müssen freilich ganz überschwenglich gewesen sein. Stimmen der Enttäuschung wurden jedenfalls angesichts der geringen Mengen verschiedentlich laut. So finden wir in Wagners Jahresberichten von 1856 folgenden Passus: „Die Pariser Ausstellung war berufen, dem Märchen vom Silber aus Lehm ein Ende zu bereiten. Hier mußte das Aluminium öffentlich sich zeigen, und es war leicht zu erkennen, daß bei weitem der größte Teil von dem, was man von ihm gehört hatte, auf Rechnung der Leichtgläubigkeit der großen Massen zu setzen sei. Statt der erwarteten Berge von Aluminium fand man nur zwölf kleine Barren, die vielleicht im ganzen 1 kg wogen, wenig genug für eine Entdeckung, welche die Welt aus den Angeln zu heben bestimmt schien.“ Auch war das Metall sehr unrein, höchstens 96 prozentig, der Rest Eisen und Silicium. Die daraus hergestellten Schmuckgegenstände wurden sehr bald ganz unansehnlich.

Deville setzte inzwischen unermüdlich seine Versuche fort. Statt des teuren Kaliums führte er das billigere Natrium als Reduktionsmittel ein. Nach Bunsens aufsehenerregender Elektrolyse von wasserfreiem Magnesiumchlorid (Pogg. Ann. 82, 137, 1852) hatte Deville, ähnlich wie Bunsen, die neue Methode auf Alu-

minium angewendet und wenige Wochen nach dessen Aluminiumelektrolyse den gleichen Erfolg, doch unabhängig von ihm, erzielt. (Bunsen, 9. Juli 1854, Pogg. Ann., und Deville, 14. Aug. 1854, Mitteilungen an die franz. Akademie.) Beide Forscher führten ihre Elektrolyse am Aluminiumnatriumchlorid durch. Das Aluminiumchlorid war wegen seiner Flüchtigkeit von beiden gemieden worden.

Es ist verständlich, daß Deville das neue, nicht flüchtige und auch nur wenig hygroskopische Doppelsalz fortan auch bei der chemischen Aluminiummethode anwandte und dadurch einen weiteren technischen Fortschritt erzielte. Weiter vermochte er den Preis des Aluminiums dadurch zu senken, daß er die Herstellung des Natriums durch Einführung rationeller Arbeitsweisen beträchtlich verbilligte. In der Sitzung der französischen Akademie der Wissenschaften vom 13. Okt. 1856 berichtete hierüber Dumas (Ann. d. Chem. u. Pharm. **100**, 347, 1856): Von diesem Metall (Na), nach dem Verfahren von Gay-Lussac-Thenard dargestellt, galt das Gramm vor mehr als 20 Jahren 7 Fr. Jetzt belaufen sich die Kosten für 1 kg Natrium auf nicht mehr als 7 Fr. Der Preis für 1 kg Aluminium aber sank von 2400 \mathcal{M} im Jahre 1854 auf 240 \mathcal{M} im Jahre 1857. Das war vor allen Dingen den rastlosen Bemühungen Devilles zu danken.

Vom Jahre 1854 ab kam ein neues Mineral in größeren Mengen nach Europa, das in wissenschaftlichen und technischen Kreisen großes Interesse erweckte. Es war der seit 1800 bekannte, von Vauquelin, Berzelius und Deville als Natriumaluminiumfluorid bestimmte Kryolith. Das neue Mineral wurde natürlich gleichfalls zur Aluminiumdarstellung herangezogen. Dr. Percy (Bull. de l'institut. royale, London 1855) war der erste, dem die Reduktion des Kryoliths durch Natrium gelang. Noch in demselben Jahre legte er das erhaltene Produkt der Royal Institution in London vor, gleichzeitig auch schon eine Legierung des Aluminiums mit 5 Proz. Kupfer. Er fügte hinzu: „Ich habe außerdem Kryolith durch den Strom reduziert, indem ich ihn mit Kochsalz mengte, und ich glaube, daß das eine ausgezeichnete Substanz ist, um alle Metalle, das Kupfer besonders, mit Aluminium zu überziehen.“

Sodann stellte Rose auch künstlichen Kryolith her, was allerdings im Beginne des Jahrhunderts schon Berzelius getan hatte.

Diesen künstlichen Kryolith benutzte er ebenfalls zur Darstellung von Aluminium. Er sagt darüber: „Dieser Kryolith, wie der natürliche Kryolith, gibt Aluminium, wenn man ihn mit Natrium reduziert, er gibt es auch unter dem Einfluß des elektrischen Stromes, was mit einem Gemisch von Tonerde und geschmolzenem Fluoraluminium nicht der Fall ist. Wenn man letzteres Experiment anstellt, bemerkt man, daß die Tonerde sich in dem Fluorid auflöst, aber in geringer Menge und im Zustand von Tonerde bleibt; denn ein elek-

trischer Strom, welcher durch die geschmolzene Masse geht, gibt Natrium und Fluor.“

Durch die Verwendung des Kryoliths kam ein großer Fortschritt in die sich entwickelnde Aluminiumindustrie. Rose sagt in seiner Abhandlung wörtlich: „Die Anwendung des Aluminiumchlorids und seine Verbindungen mit den Chloriden der Alkalimetalle ist besonders unangenehm, weil sie flüchtig sind und leicht Feuchtigkeit anziehen. Da der Kryolith nicht flüchtig ist, sich mit Leichtigkeit zum feinsten Pulver bringen läßt, wasserfrei ist und auch keine Feuchtigkeit aus der Luft anzieht, so bietet er außerordentliche Vorteile gegen jene Verbindungen dar.“ Die Feststellung der Löslichkeit der Tonerde in schmelzflüssigem Kryolith, die in dem späteren elektrolytischen Scheideverfahren so große Bedeutung erlangt hat, wurde hiernach von Rose bereits gefunden. Daß sich Natrium und Fluor und nicht Aluminium und Sauerstoff an den Elektroden abschieden, erklärt sich offenbar daraus, daß die Temperatur nicht hoch genug getrieben worden war. Erst spätere Untersuchungen anderer Forscher erbrachten den Beweis, daß bei einer 950 bis 1000° C Temperatur der Schmelze die Tonerde Elektrolyt¹⁾, der Kryolith nur Flußmittel ist.

Nachdem die ersten Versuche in größerem Maßstab gelungen waren, errichtete Deville in Verbindung mit Paul Morin, Debray und Rousseau in La Glacière, dicht bei Paris, eine Anlage zur Aluminiumfabrikation. Der Betrieb dieses Unternehmens mußte jedoch bald wegen Klagen der Nachbarschaft über die nachteiligen Wirkungen der sich entwickelnden Gase eingestellt werden. Doch bildete sich bald darauf eine neue Gesellschaft und gründete die Aluminiumfabrik zu Nanterre bei Paris. Die damals durchgeführte Arbeitsweise läßt das englische Patent 1810 erkennen, das 1856 von Devilles Mitarbeitern Morin und Rousseau genommen worden war. Danach werden 100 Tle. Natriumaluminiumchlorid mit 50 Tln. Flußspat und 20 Tln. Natrium gemischt und in dem Schmelzherd eines kleinen Flammenofens zum Glühen gebracht. Infolge der rationellen Arbeitsweise, nicht zum letzten auch bei der Gewinnung des Natriums, sank, wie schon erwähnt, der Preis des Aluminiums bis auf 240 *M*, wonach sich das allerdings noch unvollkommen gereinigte Erzeugnis in erheblichem Umfang Eingang im Handel verschaffte.

Auch die Fabrik in Nanterre bestand nur kurze Zeit, und die Erzeugung des Aluminiums wurde in die Fabrik Merle & Co. in Salindre verlegt, die später in den Besitz eines Herrn Pechiney überging. Diese Fabrik war lange Jahre, wenn auch nicht die einzige,

¹⁾ Vgl. jedoch hierzu S. 117 letzter Absatz.

so doch die größte und bekannteste Aluminiumproduzentin. Hier wurde an steter Vervollkommnung der chemischen Methoden gearbeitet. Interessant ist, was Wurtz in seinem Bericht über die Wiener Weltausstellung im Jahre 1873 über den Stand der Aluminiumbetriebe zu sagen weiß. Danach war bereits damals der Bauxit das Rohmaterial für die Aluminiumgewinnung. Aus ihm wurde durch einen chemischen Glüh-, Auslaugungs- und Waschprozeß reine Tonerde hergestellt, die ihrerseits mit Kochsalz und Kohle in das Doppelsalz des Natriums und Aluminiums verwandelt wurde. Zu je 100 kg des erhaltenen Doppelchlorids gab man 35 kg Natrium und 40 kg Kryolith und zersetzte das Gemisch in dem schon früher erwähnten Flammenofen. Das zur Reaktion entscheidend wichtige Natrium wurde auch damals noch nach der von Deville angegebenen Methode dargestellt: 9 kg Soda lieferten 1 kg Natrium. Die Jahresproduktion war inzwischen auf 1800 kg gestiegen. Die Herstellungskosten für 1 kg Aluminium beliefen sich auf 54 *M*. Da bei der in Rede stehenden Darstellungsweise etwa 3½ kg Natrium und 10 kg Natriumaluminiumchlorid gebraucht werden, die 32 bzw. 20 *M* kosteten, so ist ersichtlich, daß diese es waren, die den Preis des Aluminiums so hoch hielten, daß ein stärkeres Eindringen in die Technik ausblieb.

In den 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts sank schließlich der Preis des Aluminiums auf 40 *M* (1889). Es war dies eine Folge weiterer Verbesserungen der alten chemischen Methode.

So führte Becketoff (Jahresber. d. Chem. 1865) mit bestem Erfolg das Magnesium an Stelle des Natriums als Reduktionsmittel ein. In der Fabrik der Gebrüder Tissier in Rouen, wie auch in der Aluminium- und Magnesiumfabrik Hemelingen bei Bremen wurde jahrelang nach diesem Verfahren gearbeitet. So gelang es Castner (1882), metallisches Natrium aus seinem Hydroxyd dadurch abzuscheiden, daß er in die Ätznatronschmelze eine durch reduzierendes Rösten von Eisenoxyd in Kohle erhaltene Masse von der annähernden Zusammensetzung FeC_2 einführte und dadurch den Preis des Natriums von 8 auf 1,60 *M* herabzudrücken vermochte.

Endlich ließ sich Grabau (1891, D. R.-P. 47031) ein Verfahren patentieren, das längere Zeit das größte Interesse erregte. Nach diesem wurden Aluminiumsulfatlösungen zunächst durch Behandlung mit Kryolith in Aluminiumfluorid und Natriumsulfat umgesetzt:



Das im Wasser unlösliche Fluorid sollte abfiltriert, gewaschen und nach dem Trocknen auf beginnende Rotglut erhitzt werden, worauf es in ein mit reinem Kryolith ausgefülltes Gefäß geschüttet wurde. Auf dieses heiße Pulver setzte man die berechnete Menge reines, trockenes Natrium in Form von Würfeln und bedeckte nun

das Gefäß. Unter starker Wärmewirkung, im übrigen aber ganz ruhig verlaufend, findet folgende Umsetzung statt:



Das Aluminium fand man nach dem Erkalten der Masse als Regulus am Boden des Gefäßes unter einer Schlacke von Kryolith.

Das zur Reduktion nötige Natrium hatte Grabau durch die Elektrolyse des Salzgemisches $\text{NaCl} + \text{KCl}$ gewonnen, wofür er sich einen Apparat konstruiert hatte, der das Reduktionsmetall in ununterbrochenem Betrieb zu gewinnen gestattete. Durch sein ingenieures Verfahren vermochte Grabau etwa 90 Proz. des theoretischen Betrages an Aluminium als Ausbeute herauszuholen, gegen bestenfalls 74 Proz. nach dem Devilleprozeß, und dabei einen bis dahin unerreichten Reinheitsgrad von 99,5 bis 99,8 Proz. zu erzielen.

Als Vorzüge seines Verfahrens konnte Grabau jedenfalls mit vollem Recht hervorheben (Mitteilung an J. W. Richards, vgl. Borchers, Aluminium):

1. Das Verfahren ist unabhängig von dem verhältnismäßig teuren natürlichen Kryolith.

2. Der in Wirklichkeit gebrauchte Rohstoff, Aluminiumsulfat, kann aus billigen Erzen und Mineralien unter mäßigen Kosten in fast unbegrenzten Mengen erzeugt werden.

3. Das für die Umsetzung erforderliche Aluminiumfluorid wird durch ein in beliebig großem Maßstab ausführbares nasses Verfahren gewonnen.

4. Der zur Ergänzung der Fabrikverluste an Fluor erforderliche Flußspat ist nötigenfalls leicht zu reinigen. Etwa darin enthaltene Kieselsäure bleibt in dem Umsetzungsrückstande.

5. Das zur Reduktion von Aluminiumfluorid verwandte Natrium wird bis auf 80 bis 90 Proz. ausgenutzt.

6. Da das Aluminiumfluorid sehr schwer schmelzbar ist, greift es die Gefäßwandungen, in denen es für den Eintritt der Reaktion erhitzt werden muß, sehr wenig an, nimmt also auch keine Verunreinigungen auf.

7. Flußmittel sind nicht weiter erforderlich, da der bei der Umsetzung entstehende Kryolith selbst ein gutes Flußmittel ist.

Es waren unleugbare Fortschritte, die Grabaus Vorschläge im Sinne einer chemischen Methode der Aluminiumdarstellung zu machen wußten. Sie kamen zu spät.

Gegen Ende der achtziger Jahre des vorigen Jahrhunderts fiel der Preis für 1 kg Aluminium ganz plötzlich von 40 auf 4 \mathcal{M} . Dieser für die Aluminiumfabriken alten Schlages katastrophale Sturz war die Folge des sich mit revolutionärer Wucht durchsetzenden neuen Verfahrens der Aluminiumgewinnung durch Schmelzflußelektrolyse.

Nichts kennzeichnet besser die innere Überlegenheit der neuen Arbeitsweise, als die Tatsache, daß zehn Jahre nach der 1887 erfolgten Gründung der Aluminium-A.-G. Neuhausen in der Schweiz, der ersten Fabrik neuen Stils, nachdem auch die älteste Aluminiumgesellschaft, die Compagnie des Produits Chimiques d'Alais et de la Camargue unter gleichzeitiger beträchtlicher Erweiterung ihrer Werke in St. Michel, St. Jean und St. Felix de Maurienne zum elektrolytischen Betrieb übergegangen war, keine Fabrik mehr auf alte Weise Aluminium erzeugte.

Überraschend und plötzlich trat der Umsturz in der Technik der Aluminiumgewinnung in Erscheinung. Um so merkwürdiger bleibt es, daß sich die Entwicklung der naturwissenschaftlichen Erkenntnisse, die diese neue Technik zur Voraussetzung hat, über fast acht Jahrzehnte erstreckt.

Wie schon erwähnt, hatte Davy, der Reinaluminium suchte, eine Aluminium-Eisenlegierung durch eine Schmelzflußelektrolyse, in der der Strom selbst die nötige Schmelzwärme geliefert hatte, gefunden, allerdings wohl ohne die beobachtete Erscheinung richtig zu deuten.

Wie gleichfalls schon erwähnt, haben dann Bunsen und nach ihm Deville im Jahre 1854 zum ersten Male mit Hilfe des elektrischen Stromes das Metall aus geschmolzenem Chlornatrium-Chloraluminium dargestellt. Ersterer benutzte dazu nebenstehenden Apparat (Fig. 2). In den sägeförmigen Einschnitten der negativen Kathode schied sich das reduzierte Metall ab. Da er bei der niedrigen Schmelztemperatur des Salzgemisches anfänglich nur pulverförmiges Aluminium bekam, führte er im Laufe der Elektrolyse mehr und mehr Kochsalz ein. Dadurch stieg die Badtemperatur so hoch an, daß sich das reduzierte Metall in glänzenden Kügelchen abcheiden konnte. Im Jahre 1856 stellte er es nach demselben Prinzip aus Kryolith dar.

Bunsens und Devilles Arbeitsweisen enthielten den Grundgedanken der noch heute allein herrschenden Technik: Verwendung wasserfreier Aluminiumverbindungen im Schmelzfluß. Den Bunsen-Devilleschen Grundgedanken suchte Th. Bell, der das in Salindre gebräuchliche Verfahren im Jahre 1860 nach England verpflanzt hatte und in Washington on Tine das Metall fabrizierte, technisch zu verwerten. 1862 beschreibt er (London, Journ. of arts) ziemlich ausführlich ein für England patentiertes Verfahren, um andere Metalle auf elektrolytischem Wege mit Aluminium zu überziehen.

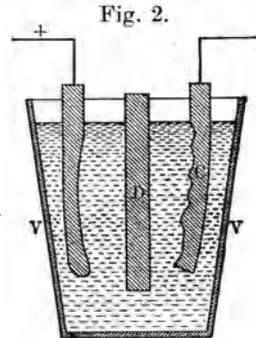


Fig. 2.
Schmelzflußelektrolyse
nach Bunsen.

Er führt aus: „Das anzuwendende Bad besteht aus Chloraluminium-Chlornatrium in wasserfreiem Zustand, welches bei einer Temperatur von 182°C in geschmolzenem Zustand erhalten wird. Die negative Elektrode bildet das Stück von Kupfer oder sonstigem Metall, welches mit Aluminium überzogen werden soll. Als lösliche positive Elektrode kann man Aluminium anwenden. Aus dieser Mischung werden in einer Form Zylinder gepreßt und dieselben vor ihrer Anwendung in geschlossenen Behältern geglüht. Bei diesem Prozeß wird das Chloraluminium mit dem Chlor erzeugt, welches sich durch die Wirkung des elektrischen Stromes entbindet. Ein Gemisch von Tonerde und Steinkohlenteer, geformt und calciniert, entspricht ebenfalls. Auch eine aus Gaskoks angefertigte positive Elektrode kann man verwenden. Anstatt des Doppelchlorids von Aluminium und Natrium kann man auch Kryolith verwenden, welcher aber eine höhere Temperatur zum Schmelzen erfordert.“

Soweit das Bellsche Patent. Es ist nichts weiter, als die Bunsen-Devillesche Methode ohne jede Änderung ins Technische übertragen, und es ist eigentlich unverständlich, diese bekannten Dinge als neue Erfindung anzuerkennen, war doch selbst die Tatsache des Haftens von Aluminium an fremdem Metall von Percy bereits 1855 erkannt worden.

Dann hören wir erst wieder im Jahre 1879 von einem Patent über Aluminiumdarstellung, das Berthaut unter Nr. 4087 in England bekam. In diesem wird nochmals das altbekannte Verfahren der Chloraluminium-Chlornatriumschmelze geschützt. Er verwendete als Stromquelle eine Dynamomaschine. Die Anwendung dieser erst 1867 erfundenen Maschine auf das Aluminiumproblem scheint vom englischen Patentamt als neue „Erfindung“ angesehen worden zu sein. Im übrigen wendete er, wie schon Bell, als Anode eine aus Kohle und Tonerde gepreßte Platte an.

Mit der Erfindung und schnellen Ausbreitung der Dynamomaschine war die Elektrizität eine wohlfeile Energieform geworden, die zudem gestattete, gewaltige Kräfte in einem Punkte zur Entladung zu bringen, wie dies bei anderen Energieformen nicht möglich ist. Daß sie, bequem greifbar geworden, erfinderische Geister auch auf dem schwierigen Gebiete der Aluminiumgewinnung zu neuen Versuchen anregen mußte, war ganz natürlich. Besonders aktuell wurde die Frage der elektrolytischen Aluminiumgewinnung aber nach Erfindung des elektrischen Schmelzofens durch W. Siemens im Jahre 1880.

Wie sehr dieses bedeutende Problem der Metallurgie damals die Geister beschäftigte, läßt ein Referat in Wagners Jahresberichten vom Jahre 1882 deutlich erkennen. Dort wird gesagt: „Besonders wichtig dürfte die Herstellung von Aluminium werden,

welches R. Bunsen durch Elektrolyse des bei 200°C schmelzenden Doppelsalzes Chloraluminium-Chlornatrium erhielt. Die praktische Schwierigkeit der Trennung des ausgeschiedenen Aluminiums von dem Salzgemisch ist durch passende Temperaturregelung und dergleichen zu überwinden. Zu berücksichtigen ist ferner, daß, wo möglich, Gefäße von Kalk oder Magnesia zu verwenden sind, da Aluminium aus Tongefäßen Silicium aufnimmt und brüchig wird. Auch der bereits in anderer Weise von H. Rose, Deville und F. Wöhler verwendete Kryolith wäre zu versuchen, wenn seine Verwendung der schwierigen Schmelzbarkeit wegen auch weniger bequem ist.“ Die hier niedergelegten Ansichten sind für die 80er Jahre des vorigen Jahrhunderts geradezu von programmatischer Bedeutung. Die Zeitschriften- und Patentliteratur dieser Zeit ist erfüllt von Vorschlägen zur Darstellung des Aluminiums mit Hilfe des elektrischen Stromes. Sie sind freilich zum größten Teil unbrauchbar, viele von ihnen offenbar reine Schreibtischerfindungen, denen jede experimentelle Grundlage fehlt.

Die damals und in späterer Zeit gemachten Vorschläge, Aluminium aus Verbindungen elektrolytisch niederzuschlagen, die in Wasser oder anderen bei gewöhnlicher Temperatur flüssigen Lösungsmitteln enthalten sind, können wir übergehen. Sie kommen für eine Aluminiumgewinnung nicht in Frage (vgl. Borchers, Aluminium und Anhang, Patentliteratur).

Auch die Vorschläge zur Reduktion von Aluminiumverbindungen durch Erzeugung sehr hoher Temperaturen mittels des elektrischen Lichtbogens oder mit Widerstandsheizung unter gleichzeitiger Verwendung von Kohle als Reduktionsmittel haben bis heute noch keinen praktischen Erfolg gehabt. Doch wird hierüber noch an späterer Stelle zu reden sein.

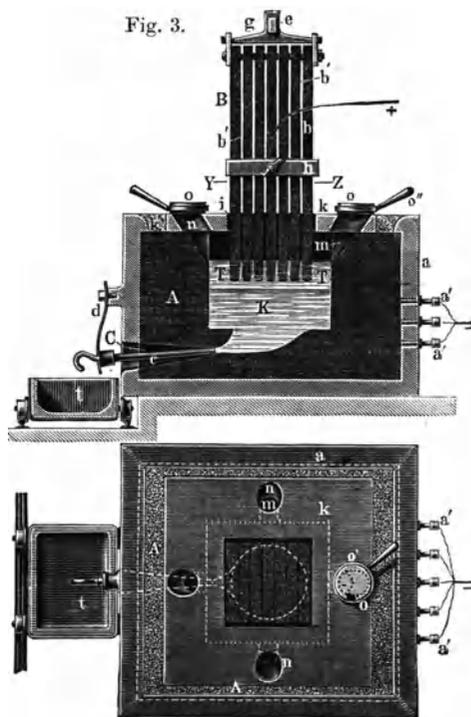
Nur die dritte Gruppe der Vorschläge führte schließlich zu einem vollen Erfolg. Es sind die Vorschläge zur Elektrolyse geschmolzener Aluminiumverbindungen, die damals die technische Lösung des Problems brachten, wie sie noch heute benutzt wird.

Wiederum sind es zwei Namen, die in dieser dritten Periode des Aluminiumproblems an erster Stelle genannt werden. Die Aluminiumindustrie verehrt in dem zur Zeit seiner Patentveröffentlichungen 24jährigen französischen Ingenieur Paul Héroult und dem gleichaltrigen amerikanischen Metallurgen Charles M. Hall ihre Begründer. Die Lösung des technischen Problems freilich ist durchaus nicht ihr alleiniges Verdienst. Hier müssen noch andere Namen mit Ehren genannt werden, insbesondere der Süddeutsche Martin Kiliani und der Nordamerikaner Chr. S. Bradley, denen Ruhm und Reichtum nur deshalb nicht zuteil wurde, weil es ihnen an jenem

Erfinderglück gebracht, das den zuerst Genannten so huldvoll gelächelt hatte.

Doch wenden wir uns zu den Leistungen der Erfinder selbst! Zunächst Hérault. Er veröffentlichte seine Ideen in den französischen Patenten 175711 von 1886 und 170003 vom 15. April 1887, sowie im belgischen Patent 77100 vom 16. April 1887, dem englischen Patent 7246 vom 21. Mai 1887, dem D. R.-P. 47165 vom 8. Dezember 1887 und dem U. S. A. 387876 vom 14. August 1888. Der Anspruch

seines deutschen Patents lautet: „Zum kontinuierlichen Schmelzen und Zersetzen von Aluminiumverbindungen oder beliebigen Erzen auf elektrolytischem Wege ein Apparat, dessen positiver Pol von einem Kohlenbündel und dessen negativer Pol von einem flüssigen Kupfer oder zu demselben Zwecke dienlichen Metalle gebildet wird, welches am Grunde des Kohlentiegels oder aus Kohlenplatten bestehenden Bassins sich befindet, das mit einem sogenannten Stichloch versehen und von einem Metallkasten umgeben ist.“



Héraults Schmelzofen.

Metall mit einer starken Ausfütterung von Kohlenplatten, welche unter sich durch einen Kohlenkitt verbunden sind (Fig. 3). Der elektrische Strom wird durch geeignete Kontakte an den Metallkasten geführt, und die Kohlenplatten übernehmen die weitere Leitung zum Elektrolyten, und durch diesen geht dann der Strom zur Anode. Diese besteht aus einem Bündel von Kohlen, welche durch einen Rahmen zusammengefaßt sind, dessen Öse zum Einhängen in eine Kette dient, mittels welcher das Kohlenbündel

gehoben und gesenkt werden kann. Mit Ausnahme eines für die senkrechte Bewegung des Kohlenbündels nötigen Spielraumes wird die Öffnung des Bassins durch Graphitplatten bedeckt, worin einige Öffnungen zur Materialeinführung sind. Entsprechend diesen Öffnungen sind an den Seitenwänden des Bassins Aussparungen vorgesehen, welche für die Ableitung der sich im Bassin entwickelnden Gase dienen.

In seiner deutschen Patentschrift verbreitet sich nun Héroult ebensowenig wie in seinen ausländischen über die Darstellung des Reinaluminiums, wohl aber über die Gewinnung von Aluminiumbronz. Er betont darin: „Zum Beginn der Operation bringt man zuerst Kupfer, und zwar vorteilhafterweise in zerkleinertem Zustand, in das Bassin. Das Kohlenbündel wird hierauf dem Kupfer entgegengebracht, der Strom geht durch das Kupfer und bringt dasselbe zum Schmelzen. Sobald das als negativer Pol dienende Bad aus flüssigem Kupfer vorhanden ist, bringt man auch Tonerde (Al_2O_3) in das Bassin und hebt das Bündel noch etwas höher. Nun geht der Strom durch das Kupfer, so daß direkt Aluminiumbronz erzeugt wird. Man speist nun das Bassin ganz nach dem Fortschreiten der elektrolytischen Metallgewinnung weiter, und zwar kontinuierlich oder in Intervallen, sowohl mit Kupfer als mit Tonerde.“

Tatsächlich wurde auch nach diesem Verfahren von der Schweizerischen Metallurgischen Gesellschaft seit dem 30. Juli 1888 (Tag der Inbetriebnahme der Anlagen) durch den als Leiter berufenen jungen Erfinder Aluminiumbronz hergestellt, aber bereits Mitte 1889 wieder gänzlich verlassen, da sich eine gleichmäßige Zusammensetzung nicht erreichen ließ. Die nach Héroults Patenten versuchte Reindarstellung des Aluminiums jedoch wollte überhaupt nicht glücken.

In dieser Zeit kam Emil Rathenau, der Begründer der Allgemeinen Deutschen Elektrizitätsgesellschaft, mit jenen Schweizer Industriellen in nähere Berührung. Dieser machte darauf aufmerksam, daß es in dem von ihm begründeten Laboratorium für Aluminiumforschung Martin Kilians gelungen sei, Aluminium durch Elektrolyse rein zu gewinnen. Wie man erzählt, soll Kilians durch einen Zufall auf den richtigen Weg geführt worden sein: ein Fragment eines lebhaft reflektierenden, beim Verstäuben von etwas erstarrtem Elektrolyt (Kryolith) auf Rathenaus Kleidung erwies sich unter dem Mikroskop als Rubin, also Tonerde. Absichtlich zugesetzte Tonerde brachte nunmehr auch das gewünschte Resultat, Reinaluminium, hervor (vgl. Askenasy, Die elektrolytische Gewinnung des Aluminiums und die Versuche zu seiner thermischen Erzeugung). 1888 gründete Rathenau mit den schon genannten Schweizer Industriellen die Aluminiumindustrie-A.-G. in Neuhausen

in der Schweiz, die Héraults Patente gegen eine Abgabe übernahm und als Nachfolgerin der Schweizerischen Metallurgischen Gesellschaft anzusehen ist¹⁾. Die Einrichtung der Fabrikation des Reinaluminiums übernahm Kiliani anfänglich allein, später führte er die Geschäfte mit dem Generaldirektor des Werkes gemeinsam. Hérault selbst leistete damals der Gesellschaft keine weiteren Dienste, blieb aber mit ihr auch über Kilianis Tod hinaus in dauernd guten Beziehungen. Er verwertete seine gewonnenen Erfahrungen zur Gründung der noch heute in hohem Ansehen stehenden Société Electrométallurgique Francaise in Froges.

Die anfänglich auftretenden Schwierigkeiten der Aluminiumgewinnung glaubte Kiliani durch eine neue Ofenkonstruktion überwinden zu können, die vor allem das in fester Form einzuführende Aluminiumoxyd mit der Schmelze gut zu mischen gestattete. Durch D. R.-P. 50508 ließ er sich sein Ofenmodell schützen. Die Entwicklung zeigte jedoch, daß der Héraultofen nach Auffindung des richtigen Elektrolyten besser arbeitete als der Kilianis. Er ist denn auch dauernd die Grundlage für den Aluminiumprozeß geblieben. Mit besserem Erfolg richtete Kiliani seine Aufmerksamkeit auf die Vorgänge im Bad. So betont er schon in der erwähnten Patentschrift die Notwendigkeit, im Interesse eines guten Gelingens der Metallabscheidung, die Temperatur des Elektrolyten möglichst niedrig zu halten. Er betont auch ausdrücklich: „Eine übermäßige Erhitzung wirkt der Ausscheidung der Ionen entgegen, da sie in feuerflüssigen Elektrolyten um so leichter wieder aufgelöst werden, je höher die Temperatur ist.“ Er war es auch, der von Anfang an ein Kryolith-Tonerdegemisch als Elektrolyt verwandte und als erster hierzu künstlichen Kryolith von der Fabrik Kunheim & Co. bezog, weil ihm die Wichtigkeit eines reinen Ausgangsstoffes für die Gewinnung eines möglichst vollkommenen Endproduktes von Anfang an unerlässlich erschien. Seinem zielbewußten Wirken verdankte jedenfalls die Neuhausener Aluminiumgesellschaft ihre rasch wachsenden Erfolge. Bereits 1890 vermochte sie 40,5 t Aluminium auf den Markt zu bringen. Bis zu dem leider viel zu frühen Tode Kilianis, 1895, war die Produktion schon auf 650 t gestiegen. Auch die in vieler Beziehung bedeutungsvolle Broschüre: Die Anlagen der Aluminium-Aktiengesellschaft Neuhausen, 1890, ist größtenteils der Niederschlag seiner wissenschaftlichen und praktischen Erfahrungen.

¹⁾ Dinglers Journal 1893, II, 74, 289/90, S. 130. Bis vor kurzem glaubte man, daß man eine Kathode aus Kupfer benutzen muß, wodurch natürlich die Erzeugung von Reinaluminium ausgeschlossen war. Ein wesentlicher Fortschritt ist in dieser Beziehung durch den Direktor Kiliani gemacht worden, dem es gelungen war, ohne die Kupferkathode auszukommen und somit Reinaluminium zu erzeugen.

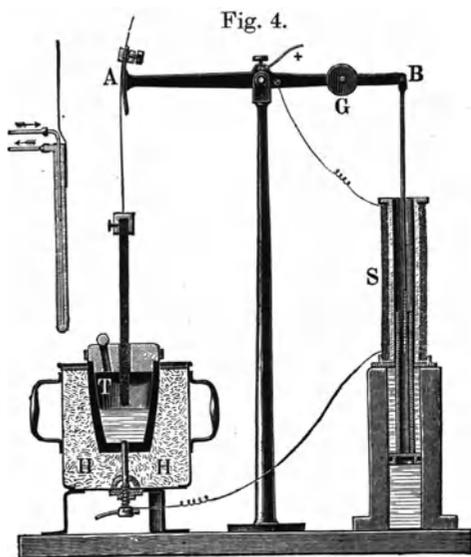
In seinen Patentschriften hatte Héroult immer betont, es sei ein „Verfahren der Herstellung von Aluminiumlegierungen durch die erhitzende und elektrolytische Wirkung eines elektrischen Stromes auf das Oxyd des Aluminiums (Al_2O_3)“. Daraus ergibt sich, daß ein Verfahren Héroult im chemischen Sinne nicht besteht. Die Notwendigkeit, durch geeignete Flußmittel den viel zu hohen Schmelzpunkt der Tonerde herabzudrücken, ist ihm anscheinend damals noch nicht klar gewesen. Hier hat erst Kilians Wirksamkeit Klarheit gebracht. Auch sein Ofen ist eigentlich nicht neu, denn schon Ch. W.

Siemens (Figur 4) benutzte (Elektrotechnische Zeitschr. 1880) zum Einschmelzen schwerflüssiger Stoffe mittels des Stromes einen Tiegel aus Graphit, der in ein metallisches Gefäß gestellt wird, unter Ausfüllung des Zwischenraumes mit gestoßener Holzkohle. Durch den durchbohrten Boden des Tiegels hatte er einen Stab von Eisen oder Gaskohle eingeführt. Eine äußere Erhitzung wendete er auch nicht an, sondern sie geschieht ausschließlich mittels des Stromes, und der Tiegel selbst bildet, weil

aus leitendem Material bestehend, die Kathode. Das Schmelzen geschah in der Weise, daß der zu schmelzende Körper als Widerstand in den Stromkreis eingeschaltet wurde. Vergleichen wir den Siemensschen Ofen mit dem in Héroults ausländischen Patentschriften enthaltenen kleineren Schmelzofen, so fällt die große Ähnlichkeit in der Konstruktion sofort in die Augen (Fig. 3 und 4).

Wir stellen deshalb fest:

Es ist Héroults Verdienst, die Aluminiumdarstellung durch Schmelzflußelektrolyse ohne Erhitzung von außen möglich gemacht und damit das Haupthindernis des elektrolytischen Verfahrens beseitigt zu haben, das nach der Möglichkeit einer billigen Beschaffung starker elektrischer Kräfte für die Großfabrikation noch bestand. Héroult kam zu seinem Verfahren durch sinngemäße Übertragung bereits bestehender Arbeitsweisen auf das Aluminiumproblem. Zu seinem großen wirtschaftlichen Erfolg gelangte er aber erst durch



Siemensschmelzofen.

die Mitwirkung Kilianis, der mit dem Scharfblick des geschulten Metallurgen die in chemisch-hüttenmännischer Hinsicht bestehenden Schwächen des in genialer Intuition erfaßten und in seinem Kerne vortrefflichen Verfahrens erkannte und beseitigte.

Während in Europa das Aluminiumproblem durch Héroult und Kiliani gelöst wurde, das die naturwissenschaftlich-technische Welt jahrzehntelang beschäftigt hatte, kam Amerika durch die Arbeiten eines Chr. Bradley und Charles Martin Hall zur gleichen Zeit, aber unabhängig von den europäischen Leistungen zu einer in den springenden Punkten völlig gleichen Lösung. Diese überraschende Übereinstimmung, diese Duplizität der Ereignisse, die in der Geschichte der Entdeckungen und Erfindungen so überaus häufig zu finden ist, an die sich so oft Prioritätsstreitigkeiten von unerhörter Heftigkeit anschlossen, beweisen, wie sehr die Idee der Aluminiumgewinnung mit Hilfe des elektrischen Stromes in den Jahren ihrer Lösung durch die voraufgehende Forschung bereits vorbereitet war. Es war in Amerika der Altersgenosse Héroults, der 24jährige Hall, der 1886 sein erstes Patent zur elektrolytischen Gewinnung des Aluminiums beim Patentamt der Vereinigten Staaten von Amerika einreichte, wenige Wochen bevor Héroult das gleiche tat. Während aber Héroult sich das schon angeführte Verfahren und den vorstehend beschriebenen Apparat für Amerika schützen ließ, hatte Halls Patent ein Lösungsmittel für Aluminiumoxyd zum Gegenstand. Mit zäher Energie hatte Hall den schon in seiner Studienzeit auf dem Oberlin College in Ohio aufsteigenden Gedanken, daß das Aluminiumoxyd durch geeignete Fluß- und Lösungsmittel zur Aluminiuelektrolyse fähig gemacht werden mußte, verfolgt. Er bekennt selbst (Borchers, Aluminium): „Es erschien mir zweifellos, daß, wenn ich für das Aluminiumoxyd selbst ein beständiges Lösungsmittel finden könnte, welches bei einer mäßigen, praktisch aufrecht zu erhaltenden Temperatur das Aluminiumoxyd bei einfachem Hinzufügen desselben lösen und die Elektrolyse desselben ermöglichen würde, ohne daß es selbst angegriffen würde, dies wahrscheinlich der beste Weg sein würde, welcher für die Fabrikation des Aluminiums durch Elektrolyse aufgefunden werden könnte.“ Durch alle seine Patente (U. S. P. 400766, 400767, 1886, 400664 und 400665) zieht sich wie ein roter Faden der Gedanke, daß Kryolith, gemischt mit $\frac{1}{4}$ seines Gewichtes Aluminiumfluorid und Tonerde, die geeignetste Badschmelze abgebe. Dazu empfiehlt er die Anwendung von Kohlenanoden „etwa beim Schmelzpunkt des Kochsalzes“. Später sieht er zwar auch Badzusätze von Flußspat, Calciumchlorid und Kaliumfluorid vor, aber wahrscheinlich nur, wie Askenasy wohl mit Recht vermutet, um Patentumgehungen zu verhindern.

Die ersten Versuche, seine Erfindung in die Praxis einzuführen, machte er 1887/88 in dem Werke der Gebrüder Cowles in Lockport. Der Erfolg blieb aus, vermutlich, weil die unzweckmäßige Außenheizung einen allzu raschen Verschleiß der Schmelztiegel herbeiführte. Der junge Erfinder ließ sich jedoch nicht entmutigen. Gleich Héroult, dem es aus einem anderen Grunde in der Schweiz nicht voll geglückt war, eine neue Gesellschaft, die Société Electrométallurgique Francaise ins Leben rief, gründete er mit Unterstützung amerikanischer Kapitalisten die Pittsburgh Reduction Company mit 1 000 000 Dollar Aktienkapital. Hier wurde sofort nach dem Hall'schen Rezept in einem elektrischen Ofen gearbeitet, der dem Héroult'schen beinahe völlig glich. Hall behauptet nun zwar, daß sich diese Widerstandserhitzung bei Schmelzbädern in größerem Ausmaße von selbst ergeben hätte. Das mag richtig sein. Da aber Héroult's Verfahren inzwischen in den Vereinigten Staaten von Amerika geschützt worden war, so konnte es nur mit ausdrücklicher Erlaubnis des Erfinders ausgeübt werden. Da es nun aber nie Prozeßstreitigkeiten zwischen der Pittsburgh Co. und der Société Electrométallurgique gegeben hat und Héroult überdies 1888 in Amerika war, so ist es mehr als wahrscheinlich, daß sich beide Erfinder unter Vereinigung ihrer Erfindergedanken verständigt haben, wenn auch darüber nie etwas bekannt geworden ist.

Trotzdem sollte die Gründerzeit der Aluminiumindustrie nicht um ihre Sensation kommen, um die Sensation eines 13jährigen Prozesses.

Wie Kiliiani ohne Kenntnis der Hall'schen Arbeiten, die ja erst in den 90er Jahren allgemein bekannt wurden, die chemische Seite des Aluminiumproblems gefördert hat, so besitzt Amerika in Bradley den Vertreter für die mehr physikalisch-thermische Seite der Frage, der mit fast noch größerer Klarheit als Héroult selbst dessen Erfindungsgedanken in seinen Patenten (U. S. P. 464 933, 468 148 und 473 866) entwickelt hat.

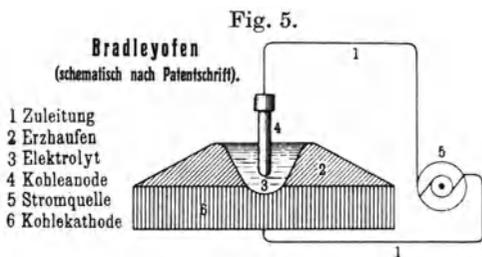
Es ist ein eigenartiges Mißgeschick, daß seine 1883 erfolgte Anmeldung erst in den Jahren 1891/92 die verdiente staatliche Anerkennung fand. Weshalb Bradley die Ansprüche aus seinem Patent erst nach fast zehnjähriger Wartezeit zuerkannt wurden, entzieht sich unserer Kenntnis. Fremde Schuld scheint es jedenfalls gewesen zu sein, die ihn um den wohlverdienten Ruhm, als Begründer der Aluminiumindustrie an erster Stelle genannt zu werden, gebracht hat. Denn da Héroult, vom Glück begünstigt, sein Patent fünf Jahre früher bekam als Bradley, obwohl er es drei Jahre später als dieser angemeldet hatte, und seine Ideen sofort energisch in die Tat umsetzte, gewann er, sicherlich ohne Kenntnis der Bradley'schen Leistungen, was eigentlich, chronologisch gedacht, diesem in gleicher Weise gebührt hätte.

Daß mit obiger Behauptung nicht zu viel gesagt ist, beweist am besten das Bradleysche Patent selbst, das im Auszug in möglichst wörtlicher Übersetzung folgen möge (nach Borchers, Aluminium):

„Bisher (also vor 1883) hat man zur Ausführung dieses Verfahrens (Elektrolyse geschmolzener Aluminiumsalze) aus feuerbeständigem Material hergestellte Tiegel oder andere Gefäße in eine zur Erzielung der Schmelztemperatur des Erzes genügend heiße Feuerung eingesetzt. Aber bei dieser Arbeitsweise stieß man auf die größten Schwierigkeiten, die Zerstörung der Schmelzgefäße zu verhindern. Denn wie im Falle der Verwendung von Kryolith sowohl dieser, wie auch das während der Elektrolyse auftretende Fluor die Tiegelsubstanzen stark angreifen und somit schnell zerstören, so zeigen sich fast alle anderen Aluminiumverbindungen ebenfalls als Flußmittel für Tiegelbaumaterialien, ganz abgesehen davon, daß die von außen angewandte Hitze auch mechanisch auf die Tiegelwände einwirkte, indem sie ein Springen oder andere Zerstörungen bewirkte.

Der Hauptgegenstand der vorliegenden Erfindung besteht daher in der Beseitigung der äußeren Wärmezufuhr zum Zwecke des Schmelzens der Erze. Um dies zu erreichen, soll ein Strom von größerer Stärke oder Intensität angewendet werden, als zur Elektrolyse allein nötig wäre, und damit wird das Erz durch diejenige Wärme in geschmolzenem Zustand erhalten, welche beim Durchgang des Stromes durch die geschmolzene Masse gebildet wird. Ein anderes Merkmal der Erfindung besteht in der Beseitigung der üblichen Tiegel als Schmelzgefäße, indem letztere aus Haufen des zu reduzierenden Erzes selbst gebildet werden. Da dieses durch die Wirkung der Schmelze so wenig wie durch die in Freiheit gesetzten Gase zerstört wird, so läßt sich ein ununterbrochener Betrieb einrichten,

wenn man nur in dem Maße, wie die Reaktion vor sich geht, entweder von außen oder von den Seitenwänden des Haufens aus frisches Erz aufgibt.“



Vergleicht man dazu den in Fig. 5 nachskizzierten „Bradleyofen“, so wird man unschwer erkennen, daß in der aus dem Jahre 1883 stammenden Patentschrift die Grundidee für die heutige Aluminiumindustrie vorweggenommen worden ist.

Wenn nun auch sicherlich Héroult von Bradleys Wirken zur Zeit seiner eigenen Patentanmeldung nichts wußte, so kann man jedoch schwer glauben, daß Hall davon nicht unterrichtet war. Ja, man darf vielleicht vermuten, daß er die Forderung der Heizung

durch den Strom selbst nur deshalb nicht in seinen Patenten aufnahm, weil das Bradleypatent den wichtigen Gedanken schon vorausnahm und er eine Ablehnung seitens des Patentamtes befürchten mußte.

Hall hatte die Ausübung seiner Patentrechte der Pittsburgh Reduction Company abgetreten, Bradley die seinen an die Electric Smelting & Aluminium Company verkauft, die aus dem schon genannten Werke der Gebr. Cowles hervorgegangen war, wo Hall seine ersten Großversuche gemacht hatte.

Da nun die Pittsburgh Reduction Company durch Einführung der Heizung der elektrischen Bäder durch den Strom selbst in die Rechte Bradleys eingriff, kam es zum Prozeß, der von den beiden gegnerischen Gesellschaften in 13jähriger Fehde mit größter Zähigkeit ausgefochten wurde. In dem Schlußurteil, dem sich die Gegner endlich fügten, erkennt der Appellhof (vgl. Borchers, Aluminium) „die Erfindung Bradleys als bedeutende Neuerung an, deren Anwendung eine Bedingung des Gelingens der elektrolytischen Aluminiumanwendung sei. Andererseits wird aber zugegeben, daß Bradleys Erfindung zwar eine notwendige, aber nicht die zureichende Grundlage des heutigen Verfahrens sei. Diese sei vielmehr erst durch Hall geschaffen worden. Doch beseitigt Halls Erfindung nicht die Abhängigkeit seiner Patente von denen Bradleys.“

Auf Grund der gerichtlichen Entscheidung zahlte die Pittsburgh Reduction Company der Rechtsnachfolgerin Bradleys, der Electric and Aluminium Company für die bisherige Benutzung des Verfahrens einen Schadenersatz und erwarb zugleich das Recht der Weiterbenutzung bis zum Jahre 1909. Da die Hallpatente bereits 1906 abliefen, sicherte sie sich den entscheidenden Einfluß in der Aluminiumproduktion der Vereinigten Staaten um weitere drei Jahre.

Mit dem Ablauf der Bradleypatente fiel die letzte rechtliche Schranke in der Entwicklung der Aluminiumindustrie zur Weltindustrie. In dieser Periode stehen wir noch heute. Sie zeichnet sich aus durch einen geradezu beispiellos raschen Anstieg der Produktion und des Verbrauchs. Umwälzende Änderungen im Verfahren sind in den letzten 35 Jahren nicht hervorgetreten, wenn auch noch von den zahlreichen Bemühungen zu reden sein wird, auf anderem Wege zu noch größeren Ergebnissen zu gelangen. Verbesserungen des herrschenden Verfahrens sind wohl in den Einzelheiten zu verzeichnen. Sie werden in einem folgenden Abschnitt zur Darstellung kommen. Im großen Ganzen steht aber das gegenwärtige Verfahren in seinen Grundzügen Anfang der 90er Jahre des vergangenen Jahrhunderts vollkommen fest.

In seinem vortrefflichen Buche, Aluminium, faßt Borchers die damals bereits bekannten Erfahrungsgrundlagen der elektrolytischen

Aluminiumgewinnung wie folgt zusammen (etwas gekürzt und in den Einzelheiten etwas abgeändert):

1. Aluminiumoxyd ist im Schmelzfluß elektrolysierbar.
2. Aluminiumoxyd allein ist zu schwer schmelzbar (Schmelzpunkt 2080°C , Siedepunkt des Metalles etwa 1800°C).
3. Es gibt schmelzflüssige Stoffe von niedrigerem Schmelzpunkt (unter 1000°C), die so gute Lösungsmittel für Aluminiumoxyd sind, daß durch regelmäßiges Nachsetzen des letzteren für einen nahezu konstant bleibenden Gehalt gesorgt werden kann.
4. Geeignete Lösungsmittel für Aluminiumoxyd sind in erster Linie Aluminiumfluorid mit Alkali- und Erdalkalifluoriden.
5. Der natürlich vorkommende, durch seine Beständigkeit beachtenswerte Kryolith hat noch einen reichlich hohen Schmelzpunkt.
6. Dieser wird schon durch Zusatz von Aluminiumoxyd erniedrigt, mehr noch durch Zusätze von Aluminiumfluorid und Calciumfluorid (Hall). Das Lösungsvermögen für Aluminiumoxyd wird durch Aluminiumfluorid jedoch nicht verbessert.
7. Die zur Elektrolyse erforderliche EMK ist um so niedriger, je höher der Gehalt der Schmelze an Aluminiumoxyd ist, dem durch die Schmelzpunktserniedrigung bestimmte Grenzen gesetzt sind.
8. Bei Sättigung des Schmelzflusses mit Aluminiumoxyd wird nur dieses durch den Strom zerlegt, nicht auch das Aluminiumfluorid. Eine Beteiligung des letzteren an der Elektrolyse würde Stromverluste zur Folge haben.
9. Ausreichende Anwesenheit des Aluminiumoxyds im Bade verhindert auch die schädliche Abscheidung von Alkali- und Erdalkalimetall aus deren Fluoriden.
10. Ein niedriger Schmelzpunkt der Lösung gestattet die Badtemperatur niedrig zu halten. Je niedriger diese, desto geringer die Lösungstension und Diffusionsgeschwindigkeiten der Elektrolysenprodukte und desto besser die Aluminiarausbeute (Kiliani, D. R.-P. 50502).
11. Je niedriger die Schmelztemperatur gehalten werden kann, desto geringer ist der Verbrauch von elektrischer Energie. Während Héroult eine Stromdichte von 25000 A/qm und eine EMK von 12 bis 15 Volt benötigte, erreichte die Fabrikpraxis der 90er Jahre dasselbe schon bei 7000 A/qm und 7 Volt.
12. Im Großbetrieb wurde sehr bald die Erfahrung gemacht, daß Schmelzgefäße mit Kohlenauskleidungen oder wenigstens mit Kohlenböden als Kathoden wie im ersten Héroultofen für Aluminiumbronzegewinnung zur Gewinnung von Reinaluminium nur dann geeignet sind, wenn für ausreichende Kühlung gesorgt wird. Unabhängig von den Ergebnissen des Großbetriebes kam Borchers auf Grund von Versuchen zu dem gleichen Ergebnis.

2. Die Entwicklung der Aluminiumindustrie.

Die allmähliche Entfaltung des wissenschaftlich-technischen Problems der Aluminiumgewinnung hatte uns genötigt, folgende Perioden zu unterscheiden:

1. Die Aluminiumgewinnung durch chemische Reduktion;
 - a) die wissenschaftliche Lösung des Problems im Laboratorium, 1824 bis 1854,
 - b) die technische Lösung im fabrikatorischen Kleinbetrieb, 1854 bis 1889.
2. Die Aluminiumgewinnung durch elektrochemische Reduktion;
 - a) die wissenschaftliche Lösung des Problems im Laboratorium, 1854 bis 1889,
 - b) die technische Lösung des Problems im fabrikatorischen Großbetrieb, 1889 bis zur Gegenwart.

Die Entwicklung der Aluminiumindustrie im wirtschaftlichen Sinne spiegelt nun zwar alle Stufen der technischen Fortschritte getreulich wider, indem jede Verbesserung und Verbilligung des Verfahrens eine Verbesserung und Verbilligung des Produktes und damit vermehrte Verwendungsmöglichkeiten schuf. Gleichwohl nötigt die wirtschaftlich rechtliche Seite des Problems zu einer etwas anderen Einteilung. Die an späterer Stelle gezeichnete Produktionskurve läßt auf das deutlichste erkennen:

- I. Die Aluminiumindustrie als fabrikatorischer Kleinbetrieb, 1854 bis 1889.
- II. Die Aluminiumindustrie als wachsender Großbetrieb, 1889 bis 1909.
- III. Die Aluminiumindustrie als Weltindustrie, seit 1909.

I.

Nachdem Deville in der chemischen Fabrik von Javelle die ersten Versuche in größerem Maßstabe geglückt waren, gründete er mit Morin, Debray und Rousseau zusammen in La Glacière, einem Vorort von Paris, die erste Aluminiumfabrik der Welt. Sie mußte wegen der Klagen der Nachbarschaft über die nachteiligen Folgen der sich entwickelnden Gase eingestellt werden. Bald darauf bildete sich eine neue Gesellschaft und gründete die Aluminiumfabrik in Nanterre bei Paris, die jedoch 1861 nach Salindre in die Fabrik H. Merle & Co. verlegt wurde. Sie gelangte dann in den Besitz eines Herrn Pechiney, war ein Vierteljahrhundert die einzige und 30 Jahre lang die größte und bekannteste Aluminiumfabrik der Welt. 1896 wurde sie A. G., die Compagnie des Produits Chimique

d'Alais et de la Camargue und ging 1897 unter Einführung des Hallverfahrens zum elektrolytischen Betrieb über.

Das Monopol Frankreichs wurde erst beseitigt, als Anfang der 80er Jahre einige nordamerikanische, englische und deutsche Firmen entstanden, die zugleich mit Verbesserungen der chemischen Methode hervorzutreten suchten. Unter anderen sind zu nennen Gebrüder Cowles in Lockport (Amerika), aus der die noch heute bestehende Electric Smelting & Aluminium Company hervorgegangen ist, ferner die Werke der Cowles Syndicate Company zu Milton bei Stoke on Trent in England und die Castnersche Fabrik in Oldbury bei Birmingham. In Deutschland suchten in den Jahren 1885 bis 1889 einige kleinere Werke, wie z. B. Grabau, Hannover, und die noch heute bestehende Aluminium- und Magnesiumfabrik Hemelingen bei Bremen die Aluminiumindustrie einzuführen. Sie produzierten in diesen Jahren etwa 50 t, d. i. die Hälfte der damaligen Gesamtproduktion. Die aufkommende, technisch überlegene elektrolytische Methode zwang die jungen Betriebe zur Ein- bzw. Umstellung. Deutschland schied damit aus der Reihe der Aluminiumproduzenten für eine Reihe von Jahren völlig aus.

II.

Mit dem Jahre 1889 setzte die Entwicklung zum Großbetrieb schlagartig ein. Anfang der 90er Jahre bestanden schon folgende bedeutende Werke: die Aluminiumindustrie-A.-G. in Neuhausen in der Schweiz, 1889 aus der Schweizerischen Metallurgischen Gesellschaft unter Beteiligung von deutschem Kapital hervorgegangen; die Société Electrométallurgique Française in Froges, 1888 und La Praz in Südfrankreich, 1894 von Héroult gegründet; die Compagnie des Produits Chimique d'Alais et de la Camargue in Salindres bei Gardanne, 1861 in Salindres gegründet, führte, wie erwähnt, 1897 in ihrem Werk Kalypso bei St. Michel de Maurienne das elektrolytische Verfahren ein und besitzt jetzt Werke, außer in Salindres, noch in de Salin, in de Salin de Girand (Bouches du Rhône), St. Felix de Maurienne und St. Jean de Maurienne. Sie verfügt über bedeutende Bauxitlager und stellt außer Aluminium auch reine Tonerde und Aluminiumsalze her. Endlich ist sie beteiligt an der Société des Nitrures, die Tonerde und Ammoniak aus Bauxit nach einem ganz neuen Verfahren gewinnen; die Société Industrielle de l'Aluminium et des Alliages, die aus der in den 80er Jahren gegründeten Fabrik der Gebr. Bernard hervorgegangen ist, wo man anfänglich nach Patenten von Minet zu arbeiten versuchte, schließlich aber in St. Michel de Maurienne zum Héroult-Hallverfahren übergang; die Société des Forces Motrices et Usines de l'Arve (Savoie), 1895 gegründet, 1902 auf 13000 PS erweitert; die British Aluminium

Company bei Foyers und Kinlochleven in Südschottland; die Pittsburgh Reduction Company mit der Stammfabrik in Kensington bei Pittsburgh in Pennsylvanien und großen Werken am Niagara; die Electric Smelting and Aluminium Company, die Inhaberin der Bradley-patente, hervorgegangen aus der Fabrik der Gebr. Cowles in Lockport.

Unter dem Schutze der Patentrechte sind die genannten Werke stetig, ohne gefährliche geschäftliche Rückschläge gewachsen.

So verfügten etwa in den Jahren 1909 bis 1914 die genannten Werke über folgenden Besitz: Aluminium-Industrie Neuhausen 26 Millionen Fr. Aktienkapital, Werk Neuhausen 5000 PS, seit 1889; Lend-Gastein in Österreich, 18000 PS, seit 1898; Werk Rheinfelden in Baden, seit 1895, 6000 PS, 20 Jahre lang das einzige Aluminiumwerk auf deutschem Boden; endlich seit 1908 Werk Chippis, Kanton Wallis in der Schweiz, mit 30000 PS Wasserkraft, die auf 100000 PS gesteigert werden kann. Dazu hohe Beteiligung an der Tonerdefabrik Goldschmieden in Schlesien und einer Tonerdefabrik in St. Louis les Aygaldes. Gesamtproduktion bis 25000 t im Jahre.

Dasselbe Ausdehnungsbedürfnis zeigt die Société Electrométallurgique Française. Sie gliederte sich 1903 große Aluminiumwerke in St. Michel de Maurienne und später noch in Argentière bei Briançon an. Sie besitzt gleichfalls bedeutende Bauxitlager bei La Claire Tourves und verfügt über Wasserkräfte von 70000 PS.

Die Pittsburgh Reduction Company oder, wie sie auch genannt wird, die Aluminium Company of America, erwarb bedeutende Wasserkräfte in Nordkarolinien und Tennessee und vergrößerte bzw. gründete neue Fabriken in Massena (N. Y.) und East St. Louis (Illinois). Außer der Metallgewinnung widmet sie sich in ausgedehntem Maße der Weiterverarbeitung und ist unter Angliederung ganz neuer Fabrikationszweige, wie der Herstellung von Aluminiumpulver und -folie, zur Errichtung großer Neuanlagen in dem alten Stammsitz der Firma, Kensington, geschritten.

III.

Mit dem Erlöschen der Héroult-Hallpatente kam ein neuer starker Antrieb in die Entwicklung der jungen Industrie. Die inzwischen erwiesene große Verwendungsmöglichkeit des neuen Metalls auf beinahe allen Zweigen des gewerblichen Lebens veranlaßte nunmehr kapitalstarke Kreise auch anderer Industrieländer, Aluminiumfabriken ins Leben zu rufen, und trieb dadurch das alte Aluminiumkapital einerseits zur Bildung von Konzernen, andererseits zum Erwerb von Wasserkraften zum Zwecke der Aluminiumerzeugung an besonders geeigneten Plätzen, um auch für einen etwa entbrennenden Konkurrenzkampf gerüstet zu sein. Es ist für diese Periode der Entwicklung bezeichnend, daß das nationale Aluminiumkapital nach

Neuanlagen auch außerhalb der Landesgrenzen drängt: Die Aluminiumindustrie entwickelt sich zur Weltindustrie.

So wird unter starker Beteiligung der Aluminium Company of America auf kanadischem Gebiet an den Shawenegan Falls die Royal (Northern Aluminium Company) Aluminium Company gegründet, die bis zu 30000 PS elektrische Kraft den Fällen entziehen kann und gereinigten Bauxit aus Guyana verarbeitet, die die Aluminium-Ore Products Company in Sollers Points Maryland, gleichfalls eine Tochtergesellschaft der Aluminium Company, heranzführt. So wird die Southern Aluminium Company in Nordkarolinien ins Leben gerufen, die bis zu 100000 PS aus einer Talsperre des Yadkinflusses für die Zwecke der Aluminiumgewinnung entnehmen kann und eine elektrolytische Anlage für eine Jahreserzeugung von 15000 t auszuführen im Begriff ist.

So hat die British Aluminium Company in ihrem Expansionsdrang große Wasserkraftanlagen zu Orsières bei Bourg im Kanton Wallis (Schweiz) erworben und sich führend an Stangfyordens Chemische Fabriken in Bergen beteiligt, einem Werke, das über 45000 PS verfügt und daneben die Stammanlagen in Foyers und Kinlochleven in Schottland bedeutend erweitert. Ein englisches Konsortium plant ferner die Errichtung einer Aluminiumgießerei in Jugoslawien und ist im Begriff, das Recht zu erwerben, die reichen Aluminiumvorkommen in der Herzegowina zu verwerten.

Englisches Kapital ist es auch, das die A. S. Hoyang Faldene Norsk Aluminium Company mit dem Recht auf Verwertung von 60000 PS des Hoyang Elfs, und die Anglo-Norwegian Aluminium Company mit einem Werk bei Kristiansand in Norwegen entstehen ließ, wovon die zuerst genannte Gesellschaft gegenwärtig 4000 t, die andere 2000 t Rohaluminium erzeugen soll. Daneben sind noch die Norwegische Nitrat-A.-G. bei Eydehaven und die Hardanger Electrical Iron and Steel Company im Begriff, große Aluminiumfabriken zu errichten, die gleichfalls die bedeutenden Wasserkräfte zur Aluminiumgewinnung ausnutzen wollen, freilich hinsichtlich der Rohstoffbeschaffung in ähnlicher Lage wie Deutschland sind, da Bauxitlager von nennenswertem Umfang in Skandinavien nicht vorkommen. So zeigen sich namentlich auch im Mutterlande der Aluminiumindustrie, Frankreich, alle Merkmale dieser Periode.

Es werden neu gegründet bzw. Wasserkräfte für Aluminiumfabrikation ausgebaut durch folgende französische Gesellschaften:

Die Société des Produits Electrochimique et Electrométallurgique des Pyrénées, 1906 in Auzat (Ariège) gegründet. Sie verfügt über 12000 PS und hat sich durch Ausbau einer Stauanlage mit einem Fassungsvermögen von 8 bis 9 Millionen Kubikmeter Wasser eine das ganze Jahr erfaßbare Kraftquelle gesichert.

Die Société d'Electrochimie bei Bourg im Kanton Wallis und St. Michel de Maurienne (Savoyen) mit je 10000 PS.

Die Société Electrométallurgique du Sud-Est bei Albertville in Savoyen und die Société d'Aluminium du Sud-Est bei Neste mit je 10000 PS.

Dazu besteht seit 1911 ein großer Verkaufskonzern, die Société l'Aluminium Français (15 Millionen Fr. Aktien und 20 Millionen Fr. Obligationen), die die größten und bekanntesten französischen Aluminiumwerke umfaßt und darüber hinaus ihre Kontrollbefugnisse auf die seit 1908 produzierende Societa Italiana per la Fabricazione dell'Alumine in Turin und einige norwegische Werke ausgedehnt haben soll.

Endlich besteht noch eine zurzeit wohl alle Aluminiumwerke der Welt umfassende internationale Aluminiumkonvention, die über zu fordernde Mindestpreise maßgebliche Beschlüsse faßt.

Angesichts dieser machtvollen Entwicklung des ausländischen Industriekapitals bleibt es ein eigenartiges Versäumnis der deutschen Volkswirtschaft, solange mit dem Ausbau einer eigenen Aluminiumindustrie gewartet zu haben. Besaß doch Deutschland außer dem kleinen, etwa 800 t jährlich liefernden Werk Rheinfelden in Baden, das noch dazu einer Schweizer Firma gehörte, überhaupt kein Aluminiumwerk. Das deutsche Kapital, hinsichtlich der Gewinnaussichten einer deutschen Aluminiumindustrie wegen des in heimischer Erde fehlenden Bauxits in schädlichen Vorurteilen befangen, hatte sich lieber Unternehmungen zugewendet, die mehr Nutzen versprachen. Erst im Kriege wurde die gefahrvolle Lage Deutschlands in bezug auf seine von fremder Zufuhr nahezu abgesperrte Metallwirtschaft offenbar und seitens der deutschen Heeresleitung mit aller Energie der Versuch gemacht, das Versäumte nachzuholen. Während auf Betreiben der österreichischen Heeresverwaltung von der Firma Stern & Hafferl, die bereits über ein großes Elektrizitätswerk, eigene Bauxitgruben, eine eigene Tonerde- und Elektrodenfabrik verfügte, in Steeg bei Goisern am Hallstätter See ein großes Aluminiumwerk erbaut wurde, das das kleinere, der Schweizerischen Aluminium-A.-G. in Neuhausen gehörende Werk (3000 t) in Lend-Gastein ergänzen sollte, richtete die Chemische Fabrik Griesheim-Elektron im Auftrage der deutschen Heeresverwaltung in kurzer Zeit drei Aluminiumbetriebe ein, und zwar: im Dezember 1915 in Rummelsburg bei Berlin für 3500 t, im Januar 1916 in Horrem bei Köln für 3000 t und im April 1916 in Bitterfeld für 4000 t Jahreslieferung. Diese nur mit Ofenhallen und Umschmelzhütten versehenen, nur für den unmittelbaren Kriegsbedarf gleichsam aus der Erde gestampften Betriebe gingen bis auf das Bitterfelder Werk mit Kriegsende wieder ein.

Es entstanden in den Kriegsjahren aber auch zwei bedeutende Werke, die von Anbeginn dazu bestimmt waren, den heimischen Bedarf an diesem Metall in den kommenden Friedensjahren durch eigene Erzeugung zu decken: das Erftwerk bei Grevenbroich in der Nähe von Köln und das Lautawerk bei Hoyerswerda in der Lausitz. Ersteres wurde im August 1916 begonnen und im Dezember 1917 in Betrieb genommen. Als Gründer haben zu gelten das Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerk A.-G., Essen, neben Gebr. Giuliani und dem Staat. Die zum Hüttenbetrieb nötige Kraft bezieht es vom Elektrizitätswerk Goldenberg, Kraftwerk Knapsack bei Köln, das mit Braunkohle arbeitet. Doch ist auch ein Anschluß an Kraftwerk Reisholz bei Düsseldorf vorhanden, das mit Steinkohle betrieben wird. Letzteres, das außer den Ofenhallen und der Gießerei eine große Tonerdefabrik und ein großes, auch nach auswärts lieferndes Kraftwerk besitzt und über eigene Ton- und bedeutende Braunkohlengruben verfügt, wurde von Griesheim-Elektron, der Metallbank und Metallurgischen Gesellschaft, Frankfurt, und dem Reich gemeinschaftlich geschaffen und Oktober 1918 in Betrieb genommen. Beide Werke vermögen etwa je 20000 t im Jahre zu erzeugen, doch werden wohl gegenwärtig nicht mehr als 12000 t jährlich infolge der überaus schwierigen Lage der gesamten deutschen Wirtschaft abgesetzt. Die Aluminiumwerke Bitterfeld und Lauta, wie auch die inzwischen wieder eingegangenen Werke Horrem und Rummelsburg hatten sich von Anfang an als die „Vereinigten Aluminiumwerke“ zusammengeschlossen. Ihnen ist 1921 auch das Erftwerk angegliedert worden. Da Erft eine Elektrodenfabrik, Lauta eine Tonerdefabrik betreibt, so ergänzen sich die beiden Hauptbetriebe aufs beste.

An den „Vereinigten Aluminiumwerken“, deren Kapital mit 20,8 Mill. Gm. bei einer Reserve von 2,4 Mill. Gm. und einem Anlagewert von 20,31 Mill. Gm. angegeben wird, war das Reich neben den genannten privaten Gesellschaften finanziell stark beteiligt. Es übt durch Beauftragte von Anfang an ein weitgehendes Mitbestimmungs- und Aufsichtsrecht aus.

Um nun aber auch der deutschen Aluminiumerzeugung, die zurzeit noch mit der verhältnismäßig teureren Braunkohlenenergie arbeiten muß, den friedlichen Wettbewerb mit dem Auslande zu erleichtern, wird in allernächster Zeit die Umstellung des gesamten Ofenbetriebes auf billige Wasserkraft erfolgen¹⁾. Die deutsche Energiewirtschaft ist in Bayern seit Jahren am Werke, bedeutende Quellen billiger Wasserkraft zu erschließen. So haben die Finanzgruppen AEG-Siemens-Schuckert und Gebr. Giuliani in der Nachkriegszeit bei Mühldorf am mittleren Inn ein Elektrizitätswerk

¹⁾ Das Kraftwerk ist seit 1. Juli 1924 im Betrieb: 100 000 PS, 465 Mill. kW-Stunden Jahresdurchschnitt, die Aluminiumfabrik arbeitet seit 1. Januar 1926.

von 200 Millionen Kilowatt erbaut, das der künftigen Aluminiumerzeugung in Deutschland dienen soll.

Wie in Deutschland der große Zerstörer Krieg zum Schöpfer einer neuen aussichtsreichen Industrie wurde, der einzigen, die uns im letzten, so unheilvollen Jahrzehnt zugewachsen ist, so war er es indirekt auch in anderen Ländern, die bisher eine eigene Aluminiumindustrie nicht besaßen. So errichtet man gegenwärtig im fernen Japan am Yoyogi mit Unterstützung der Regierung ein eigenes Aluminiumwerk, das jährlich etwa 3000 t, den durchschnittlichen Landesbedarf, unter Benutzung von Bauxiten aus Korea, Indien und dem eigenen Lande erzeugen soll¹⁾.

Auch Rumänien, das durch den Krieg zum Besitzer des reichsten Bauxitlagers unseres Kontinentes geworden ist, gedenkt sich eine eigene Aluminiumindustrie zu schaffen, wenigstens hat es neuerdings den beiden nach Deutschland liefernden Bauxitgesellschaften, der Alumina Co. und der Bauxita Co. nur unter der Bedingung die Ausfuhrerlaubnis erteilt, daß von ihnen in absehbarer Zeit mit Errichtung eines Aluminiumwerkes auf rumänischem Boden begonnen wird. Die Preßburger Kabelfabrik plant mit staatlicher Unterstützung die Errichtung eines Aluminiumwerkes zwecks Ausnutzung des ungarischen Bauxits (Bihargebiet), der Erdgasquellen und Wasserkräfte. Ähnliche Bestrebungen machen sich auch in Jugoslawien und Dalmatien geltend, deren große Bauxitlager erst im Kriege erschlossen, ja, zum Teil erst entdeckt worden sind. Da Wasserkräfte und Rohstoffe in ausreichendem Maße vorhanden sind, so ist damit zu rechnen, daß auch in diesen Ländern eine bodenständige Aluminiumindustrie erstehen wird.

Der stürmische Aufschwung, den die Aluminiumindustrie im letzten Jahrzehnt genommen hat, nicht wenig gefördert durch die Anforderungen des Krieges, spiegelt sich aufs deutlichste in der Produktionskurve wider (s. Fig. 6 a. f. S.). Ihre Steilheit in diesem Zeitabschnitt erweist dies um so nachdrücklicher, als alle Aluminiumerzeugenden Völker am Weltkrieg beteiligt waren. Daß dabei nicht einmal der ganze Bedarf an Aluminium ohne Schwierigkeit befriedigt werden konnte, zeigt das nicht unbeträchtliche Ansteigen der Preiskurve (Fig. 6). Nun ist zwar die Produktion von ihrer im Jahre 1918 erklommenen Höhe von nahezu 180 Millionen Tonnen infolge des wirtschaftlichen Chaos, das der Krieg auf dem Gebiet der Weltwirtschaft zurückgelassen hat, anfänglich um die Hälfte ihres Höchst-

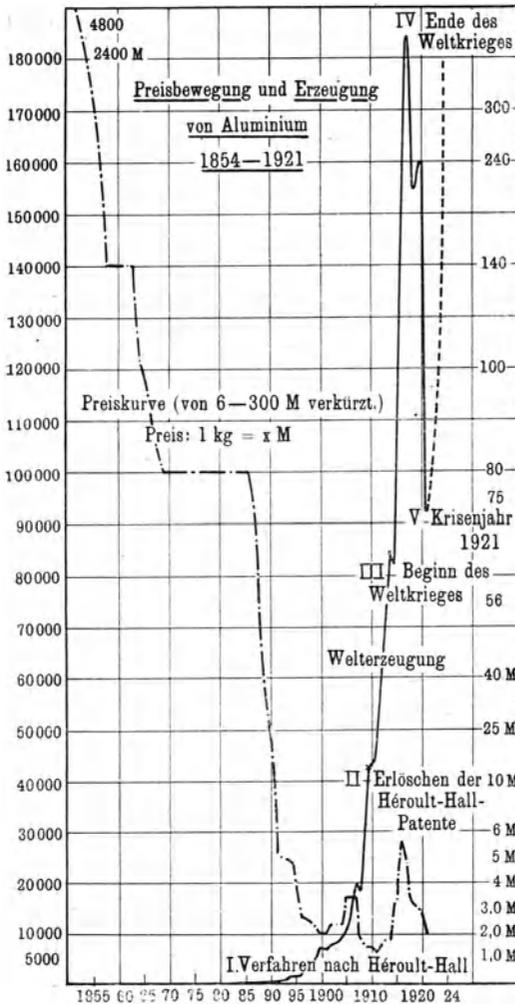
¹⁾ Mit dem raschen Erstarken der reichsdeutschen Aluminiumerzeugung hat sich in den letzten Jahren nun auch das Besitzverhältnis an den Werken verschoben. Die Privatindustrie ist ausgeschieden, zumal sie erkannte, daß Gewinne weniger durch Aluminiumerzeugung als -verarbeitung zu erzielen sind. Sämtliche Aktien sind mittelbar oder unmittelbar in die Vereinigten Industrieunternehmungen (Viag), einer Holdinggesellschaft, eingebracht worden, deren Aktien sich im Besitze des Reiches befinden.

Mit dieser letzten Stufe ihrer Entwicklung sind die deutschen Aluminiumhütten nach ökonomischen Grundsätzen geleitete Staatsbetriebe geworden.

bestandes gefallen, aber bereits reden die neuesten Meldungen wieder zuversichtlich von einem erneuten Steigen der Produktion.

Der Stinneskonzern sichert sich durch Erwerb bedeutender osteuropäischer Bauxitvorkommen maßgebenden Einfluß auf diesem größten Aluminiumerzgebiet Europas, vermutlich dem einzigen, auf

Fig. 6.



dem zurzeit deutsche Aluminiuminteressen von deutschem Kapital gewahrt werden können. Neben dem deutschen ist auf osteuropäischem Bauxitgebiet vor allem noch italienisches und nordamerikanisches Kapital tätig, um den heimischen Aluminiumwerken wichtige Rohstoffvorkommen zu sichern. Von auffallender Rührigkeit und Unternehmungslust ist in dieser Hinsicht das Industriekapital der Vereinigten Staaten, das auf wichtige Bauxitlager, wo immer es möglich ist, die Hand zu legen sucht, obwohl die Heimat über Bauxitlager verfügt, die den Bedürfnissen der Industrie im heutigen Ausmaße für Jahrzehnte genügen. So berichtet die Times Trade Supplement,

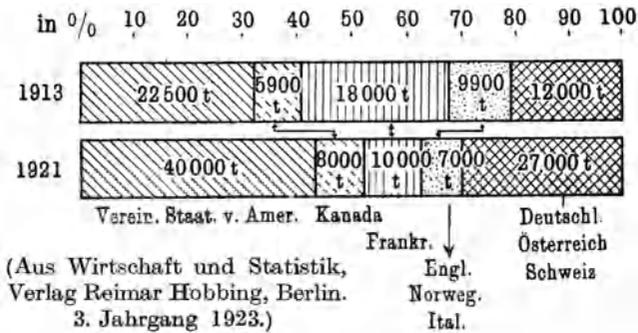
um nur ein Beispiel zu nennen, daß die Northern American Aluminium Company mit der Ausbeutung der Bauxitlager in Britisch Guyana begonnen habe und dort sogar die Ausnutzung von 125000 PS Wasserkraften für die Zwecke der Aluminiumgewinnung vorbereitet. Endlich hat, wie die neuesten Zeitungsnachrichten melden, die

Al. Co. of America die Norwegischen Werke für 3,5 Mill. Dollar erworben und damit eine jährliche Produktion von etwa 20 000 t unter ihre Kontrolle gebracht.

Das Krisenjahr 1921 hatte die Produktionsziffern aller Metalle hinter den Stand von 1913 zurückgeworfen, nur die Erzeugerzahl des Aluminiums lag noch 34 Proz. darüber, obwohl sich ja die Produktion etwa 50 Proz. niedriger stellte als die Höchstziffer des Jahres 1918. Neuere Meldungen liegen naturgemäß noch nicht vor.

Fig. 7.

Der Anteil der Länder an
der Aluminiumerzeugung der Welt



Es ist aber die Zuversicht bezeichnend, mit der man in interessierten Kreisen auf erhöhten Absatz rechnet. Hat doch die Geological Survey für die Vereinigten Staaten von Amerika festgestellt, daß die Bauxitproduktion von 1922 die von 1921 bereits wieder um 100 Proz. übertroffen hat.

Bauxitproduktion der Vereinigten Staaten von Amerika.

Jahr	inländisch	Einfuhr	Ausfuhr	geschätzter Verbrauch in longtons (1 lt = 1016 kg)
1921	139 550	27 587	5 942	161 195
1922	309 600	22 219	19 617	312 202

Mit 312 000 t ist aber der Bauxitertrag des Jahres 1918, soweit Amerika in Frage kommt, wieder erreicht, so daß es durchaus wahrscheinlich ist, daß die Weltproduktion des Aluminiums mit dem Jahre 1922 wieder ansteigt und in diesem Jahre (1924) die 200 000-t-Linie erreichen wird.

Zweiter Teil.

Die heutige Aluminiumgewinnung in Deutschland.

Ausgangsmaterialien.

1. Die Herstellung reiner Tonerde aus Bauxit.

Das Jahrbuch des statistischen Reichsamtes von 1923 meldet an Bauxiteinfuhr:

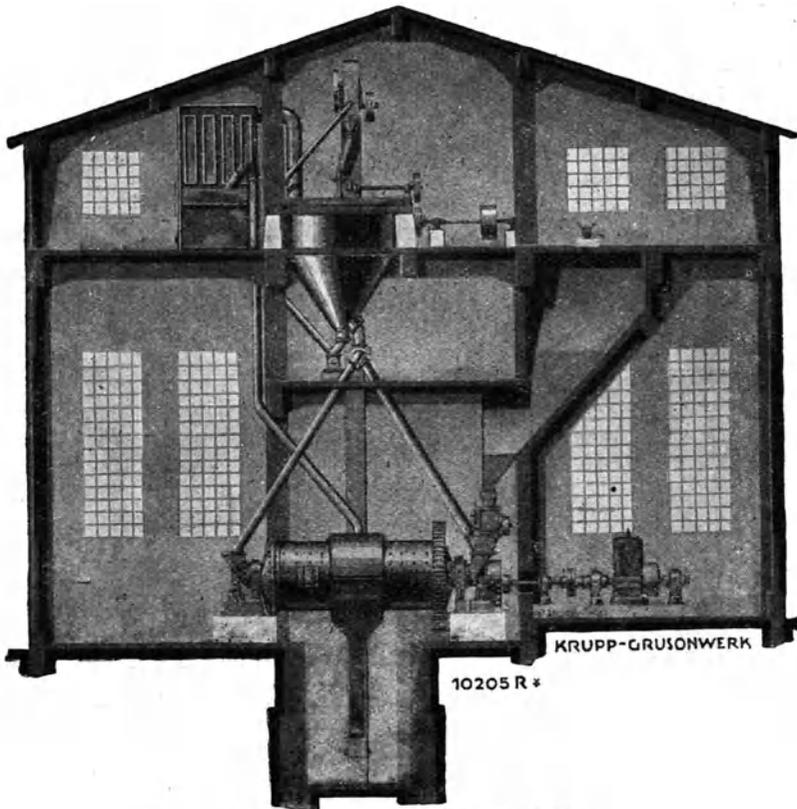
Bauxit (s. Kryolith). Mengen in Tonnen.

		1913	1920	1921	1922
Einfuhr	Elsaß-Lothringen	—	—	21	101
	Frankreich	36 490	1 432	24 335	91 629
	Italien	—	4 549	11 681	45 855
	Resteinfuhr, vermutlich aus Siebenbürgen, Dal- matien, Istrien usw. .	1 962	7 758	4 162	29 079
	Zusammen	38 452	13 739	40 199	166 664
Ausfuhr	355	243	21	58	

An diesen Zahlen fällt besonders auf, daß die französischen Bauxite, die naturgemäß während des Krieges vollkommen ausfielen, 1922 fast mit dem Dreifachen des Betrages von 1913 in der Einfuhr auftreten und daß daneben in von Jahr zu Jahr steigendem Maße italienische Bauxite eingeführt worden sind, während die siebenbürgischen und krainischen, die im Kriege neben istrischen und dalmatinischen vielfache Verwendung fanden, anscheinend nicht weiter zur Tonerdegewinnung herangezogen worden sind. Dieser Wechsel im Rohstoffbezug hat nicht etwa handelspolitische Ursachen, sondern erklärt sich aus dem hervorragenden Gütegrad der neuerdings eingeführten Rohstoffe. Die hauptsächlichsten, für die Tonerdegewinnung störendsten Verunreinigungen sind die immer auftretenden Eisen- und Siliciumoxyde. Bauxite mit einem Kieselsäuregehalt von mehr als 3 Proz. lassen sich durch die gegenwärtig üblichen Methoden der Großfabrikation mit vollem wirtschaftlichen Erfolg nicht bearbeiten. Solange daher der zwar eisenreiche, aber

kieselsäurearme, sogenannte „rote“ Bauxit der französischen Westalpen für die deutsche Tonerdefabrikation in ausreichendem Maße erfaßt werden kann, wird sie auf die geringeren Qualitäten, gar nicht zu reden von dem bis zu 25 Proz. Kieselsäure enthaltenden „weißen“, verzichten.

Fig. 8.



Hochleitungsrohrmühle mit Windsichtung.

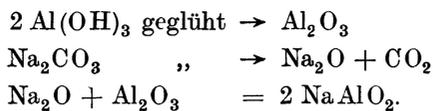
Die Verarbeitung des roten Bauxits auf reine Tonerde sei in Kürze so dargestellt, wie wir es in einem der größten Aluminiumwerke beobachten konnten.

Ganze Berge des bräunlichen Minerals, das in faustgroßen Brocken und Knollen noch bergfeucht auf offenen Waggons tagtäglich anrollt, werden dort in einem wohldurchdachten, menschliche Arbeit nahezu ausschaltenden kontinuierlichen Prozeß zu dem schneeweißen Aluminiumoxyd aufbereitet, das der eigentliche Hüttenbetrieb benötigt.

Zunächst kommen die lufttrocken gemachten Knollen in ein System gewaltiger Kugelmühlen, die unter mächtigem Toben und

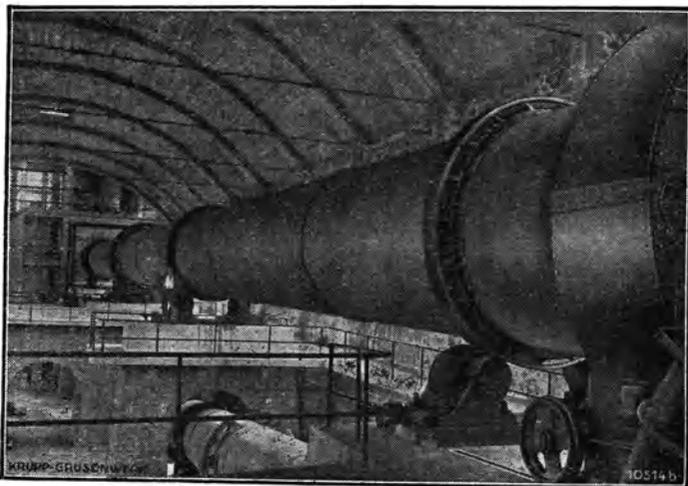
Kollern alles zu Staub zermalmen. Mit Vorteil ersetzt man die Kugelmühlen in neuester Zeit durch die Hochleistungsrohrmühlen mit Windsichtung (Fig. 8).

Das durch seinen Gehalt an Eisenoxyd gelb bis rotbraun aussehende Bauxit, „mehl“ wird nunmehr mit bestimmten Mengen kalzinierter Soda und Kalk versetzt. Die erforderlichen Gewichtsmengen sind aus der Analyse des gerade bearbeiteten Rohstoffes errechnet worden. Die zugeführte Menge Soda bestimmt sich nach dem Gehalt an Al_2O_3 . Er muß der Formel entsprechen:



Der Kalkzusatz errechnet sich aus dem Kieselsäuregehalt, so daß die Formel $\text{SiO}_2 + \text{CaO} = \text{CaSiO}_3$ erfüllt wird.

Fig. 9.



Drehrohröfen.

Die Mischung, die gleichfalls automatisch in großen, sorgfältig arbeitenden Misch- und Rührbottichen erfolgt, wird dann nach einem Verfahren, das in seinen Grundzügen schon von Le Chatelier und Morin, den Mitarbeitern Devilles in den 50er Jahren des vorigen Jahrhunderts angewandt wurde, einem intensiven Röstvorgang unterworfen. Es wird zu diesem Zwecke in riesigen, 60 bis 70 m langen Drehrohröfen (Fig. 9 und 10) einer Glut von etwa 1800°C ausgesetzt und rutscht dabei in dem schräg liegenden und in langsamer Drehung befindlichen Rohr langsam nach unten, während die Heizung

durch Generatorgas am unteren Ende erfolgt. Durch diese nach dem Gegenstromprinzip angeordnete Bewegung der Heizgase und des Reaktionsgemisches wird die gewünschte Umsetzung völlig erreicht. Die Soda wird in der Hitze des Ofens zerlegt. Die Kohlensäure entweicht und wird durch Röhren weitergeleitet, um an einer späteren Stelle des Verfahrens wieder eingeführt zu werden. Das zurückbleibende Natriumoxyd bindet sich mit dem Aluminiumoxyd, das gleichzeitig aus dem Hydroxyd entstanden war, zu Natriumaluminat, wie schon die oben angeführte Formel erkennen ließ. Das entstandene Natriumaluminat (Na Al O_2) ist wasserlöslich. In großen Filterpressen erfolgt seine Trennung von dem unlöslichen Rückstand, einem feinkörnigen, roten Schlamm, der im wesentlichen aus Eisenhydroxyd, Calciumaluminiumsilikat, Natriumaluminat und Natriumtitanat besteht und natürlich je nach der Zusammensetzung des verarbeiteten Bauxits etwas verschieden ausfällt. Die Durchschnittsanalyse in einem Großwerk der Tonerdegewinnung betrug z. B. in geglühter Substanz:

Si O_2	7,6	Proz.
Ti O_2	7,7	„
$\text{Fe}_2 \text{O}_3$	46,0	„
$\text{Al}_2 \text{O}_3$	12,7	„
$\text{Na}_2 \text{O}$	6,4	„
Ca O	17,6	„
SO_3	0,9	„
Mg O	0,7	„

Der Rotschlamm kann als Gasreinigungsmasse (Luxsche Masse) oder billige braune Malerfarbe¹⁾ Verwendung finden. Vielleicht eignet sich die pastenförmige Substanz auch als Schleif- und Poliermittel²⁾, als Zusatz zu Zement oder zur Ver-

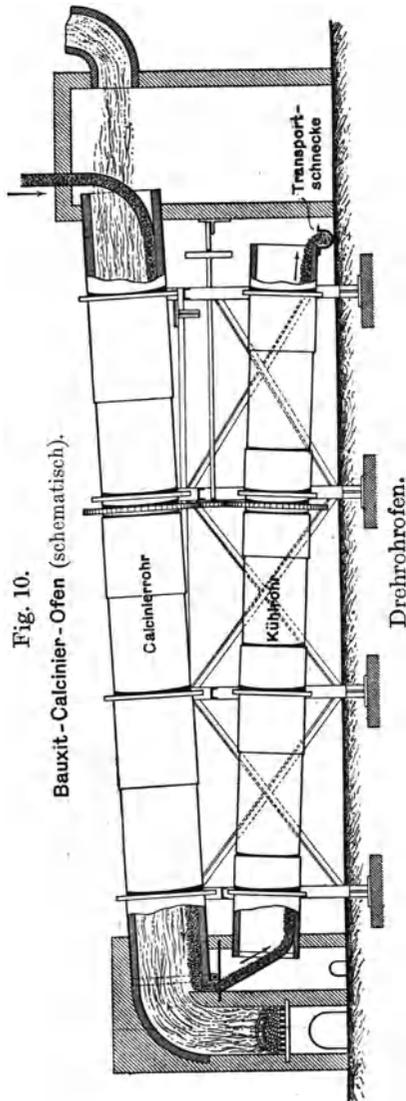


Fig. 10.
Bauxit-Calciner-Ofen (schematisch).

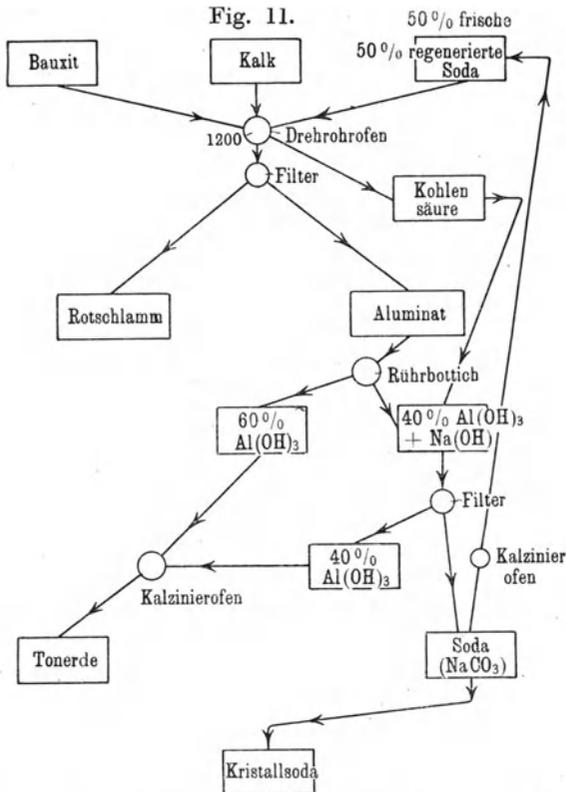
¹⁾ Veralu-Farbe der Vereinigten Aluminium-Werke (Lautawerk).
²⁾ D. R.-P. 329 972. Der alkalihaltige Rotschlamm wird mit Fett verseift und zu Putz-, Schleif- und Polierpaste verarbeitet.

hüttung auf Eisen. Eine restlose Verwendung findet jedenfalls nicht statt. Das bezeugen die beträchtlichen Halden, auf die es als unverwertbarer Abfall zurzeit größtenteils wandert.

Die sorgfältig filtrierte, klare, durch geringen Chromgehalt etwas gelblich gefärbte Lösung des Aluminats gelangt nun in Rührbottiche von riesiger Größe. Es sind dies zylindrische Eisengefäße von 12 bis 16 m Höhe mit einem Durchmesser von 6 bis 8 m, um deren Hauptachse mächtige Flügelräder, den Propellern einer Schiffsschraube vergleichbar, in beständiger Bewegung sind. Hier spaltet sich das Aluminat unter Mitwirkung des Wassers auf. Nach K. J. Bayer, der in den 80er Jahren die „Fällbarkeit des Aluminiumhydroxyds aus der Aluminatlösung ohne Kohlensäure“ entdeckte, muß die Lauge bei einem Molekularverhältnis von $1 \text{ Al}_2\text{O}_3 : 1,75$ bis $1,85 \text{ Na}_2\text{O}$ 60 g Tonerde im Liter enthalten, wenn die Trennung des Aluminiumhydroxyds von dem Natriumhydroxyd gelingen soll. Das Aluminiumhydroxyd ist unlöslich, wenn seine Abscheidung in kristalliner Form erfolgt. Das ist der Fall bei etwas über Zimmertemperatur. Der sichere Verlauf dieser Umsetzung wird dadurch erzielt, daß man die Lösung mit etwas kristallinem Aluminiumhydroxyd „impft“. Man macht dies so, daß man beim kontinuierlichen Betrieb Tonerde, die aus einer vorhergehenden Operation stammt, im Behälter läßt und frische Lauge in dem etwa halb geleerten Behälter zufließen läßt. Dann scheidet sich in ein bis zwei Tagen ungefähr 60 Proz. des vorhandenen Gehalts an Tonerde in gut kristalliner, leicht auswaschbarer Form ab.

Das ausgefallene Aluminiumhydroxyd, das mit der noch 40 Proz. gelöste Tonerde enthaltenden Natronlauge einen weißen, dicken Brei bildet, wird auf Saugfilter gebracht, das sind walzenförmige Gefäße, die im Innern durch eine Vakuumpumpe luftleer gemacht werden. Alle Flüssigkeit dringt durch die Filter in das Innere der Walze. Das schneeweiße, durch Wasser gründlich gewaschene Aluminiumhydroxyd wird von Zeit zu Zeit von der Nutsche abgestreift, getrocknet und in kleineren Glühöfen bei etwa 1200°C sorgfältig zu Oxyd kalziniert. Der flüssige Rückstand, der überwiegend aus Natronlauge und gelöster Tonerde besteht, wird unter Verwertung von Abfallwärme im Vakuum eingedampft. Durch Einleiten der Kohlensäure, die zu Anfang des Arbeitsganges beim Glühen im Drehrohrföfen erhalten worden war, wird die Natronlauge in Soda zurückverwandelt und der letzte Rest des Aluminiumhydroxyds zur Ausfällung gebracht. Dieser wird gleichfalls sorgfältig ausgewaschen, getrocknet und im Kalzinierofen zu Oxyd verarbeitet. Die hochkonzentrierte Sodalösung, die gegebenenfalls noch von den vorhandenen Chromsalzen befreit wird, läßt man in großen, flachen Behältern auskristallisieren. Man hat es nun in der Hand, die Kristallsoda zu kalzinieren und beim Aufschluß neuer Bauxitmengen zu verwerten.

Zumeist zieht man es jedoch vor, die gewonnene Kristallsoda zu verkaufen. Dies ist bei guter Absatzmöglichkeit offenbar wirtschaftlich vorteilhafter als der technisch an sich durchführbare Kreislauf bestimmter Sodamengen im Betrieb. Restlos läßt sich der angedeutete Kreislauf zudem überhaupt nicht durchführen, da sich ja nicht bloß mechanische Verluste im Laufe des Arbeitsganges einschleichen, sondern auch Verunreinigungen in der regenerierten Soda ansammeln und außerdem chemische Verluste durch die Bildung von Calciumnatriumsilikat, Natriumaluminiumsilikat und Natriumtitanat entstehen, die sich in dem fast wertlosen Rotschlamm wiederfinden. Diese Verluste sind naturgemäß um so geringer, je weniger Kieselsäure, Eisen und Titan im Bauxit vorhanden waren. Der Arbeitsgang vom schmutzig braunen Rohstoff bis zum schneeweißen Aluminiumoxyd stellt sich demnach folgendermaßen dar:



Gewinnung von Tonerde aus Bauxit (schematische Übersicht).

Ist schon die Trennung des Aluminats vom Rotschlamm durch die Filterpressen ein Vorgang, der genaue Einhaltung von Konzentration und Temperatur erfordert, wenn das Ausfallen der Tonerde

nicht schon in der Filteranlage erfolgen soll, was zu schweren Betriebsstörungen durch Verstopfen führen kann, ist ferner die Ansammlung des nahezu wertlosen Rotschlammes ein technischer Nachteil des ganzens Verfahrens, der nicht beseitigt werden kann, so ist die Entwässerung des gewonnenen Hydrats bei 1000 bis 1200°C erst recht ein Punkt der Fabrikation, der größte Sorgfalt verlangt. Ungefähr 16 Proz. der Fabrikationsunkosten entfallen hierauf. Tonerde bleibt nur dann völlig wasserfrei, wenn die letzte, sehr schwer entfernbare Spur Hydratwasser herausgeglüht ist. Sie muß entfernt sein, damit später kein Herumspritzen glühender Massen aus dem Schmelzbad eintritt. Außerdem darf die mit beträchtlichen Kosten gereinigte Tonerde durch unreines Generatorgas oder Bestandteile der Ofenauskleidung nicht wieder verunreinigt werden. Endlich muß die Tonerde ihre staubartige Beschaffenheit beibehalten. Keinesfalls darf sie durch zu große Hitze zusammenbacken oder gar sintern.

Es ist daher nicht verwunderlich, daß man noch immer Vorschläge zur Verbilligung und Verbesserung der Herstellung macht. Jedoch ist bis jetzt außer dem pyrogenen und dem nassen Bayerischen Verfahren, aus denen das eben geschilderte hervorgegangen ist, in Deutschland unseres Wissens kein weiteres im Großbetrieb in Gebrauch.

Da die beiden älteren Verfahren der Tonerdegewinnung in Deutschland noch heute in großen Werken betrieben werden, sei in Kürze vor Erörterung einiger neuerer Patentvorschläge auf sie eingegangen.

Das pyrogene Verfahren gleicht in seinem Anfang völlig dem oben dargestellten. Nur verzichtet man auf den Zusatz von Kalk. Soda und Bauxit mischt es im Verhältnis 1:3. Der Aufschluß ist beendet, wenn eine dem Kalzinierofen entnommene Probe mit Säuren nicht mehr aufbraust. Das gebildete Aluminat (NaAlO_2) wird nun durch möglichst rasch vor sich gehendes Auslaugen mit etwa 80°C warmem Wasser vom Eisenoxyd getrennt. Meistens ist die Lösung infolge eines geringen Gehalts des Bauxits an Chromverbindungen goldgelb gefärbt. Diese werden zu Chromat aufgeschlossen.

Zum Auflösen benutzt man zunächst die schwachen Laugen, die beim Auswaschen in früheren Operationen erhalten wurden. Man erhält auf diese Weise gleich ziemlich konzentrierte Lösungen, die nach dem Filtrieren entweder sofort mit Kohlensäure behandelt oder, wie oben beschrieben, mit Tonerdehydrat verrührt werden können. Die Auflösung erfolgt am besten in einem System rechteckiger eiserner Kästen, die miteinander in Verbindung stehen und mit Doppelboden versehen sind. Fig. 12 gibt einen solchen aus Lunges Sodaindustrie entnommenen Apparat wieder. Das Auslaugen ge-

schiebt in folgender Weise. Nachdem man auf dem durchbrochenen Boden mit Bolzen ein Filtertuch aus Leinwand befestigt hat, beschickt man die Kästen mit der Aluminiumschmelze. Die schwachen Endlaugen läßt man der Reihe nach alle vier Kästen durchlaufen. Sie verlassen den letzten Kasten als gesättigte Lösung. Gleichzeitig erwärmt man durch Einblasen von Dampf. Indem die Lauge von einem Gefäß in das andere durch ein unterhalb des Siebbodens angebrachtes Überlaufrohr gehen muß, ist dafür gesorgt, daß stets die schwerere und gesättigtere Lauge in das nächste Gefäß abfließt, während die diese ersetzende verdünntere Lauge erst wieder von oben nach unten die Schmelze passieren muß. Ist der Kasten 1 ausgelaut, so wird der Inhalt des Kastens 2 schon so weit abgearbeitet sein, daß die nach 3 überfließende Lösung nur noch 3 bis 4° Bé zeigt. Man läßt dann diese schwache Lauge durch den Bodenhahn nach einem dafür bestimmten Behälter ablaufen und pumpt sie sofort nach dem Kasten 3. Inzwischen füllt man den Kasten 1 mit neuer Schmelze und setzt dann die Kästen in der Reihenfolge 2, 3, 4, 1 wieder in Gang.

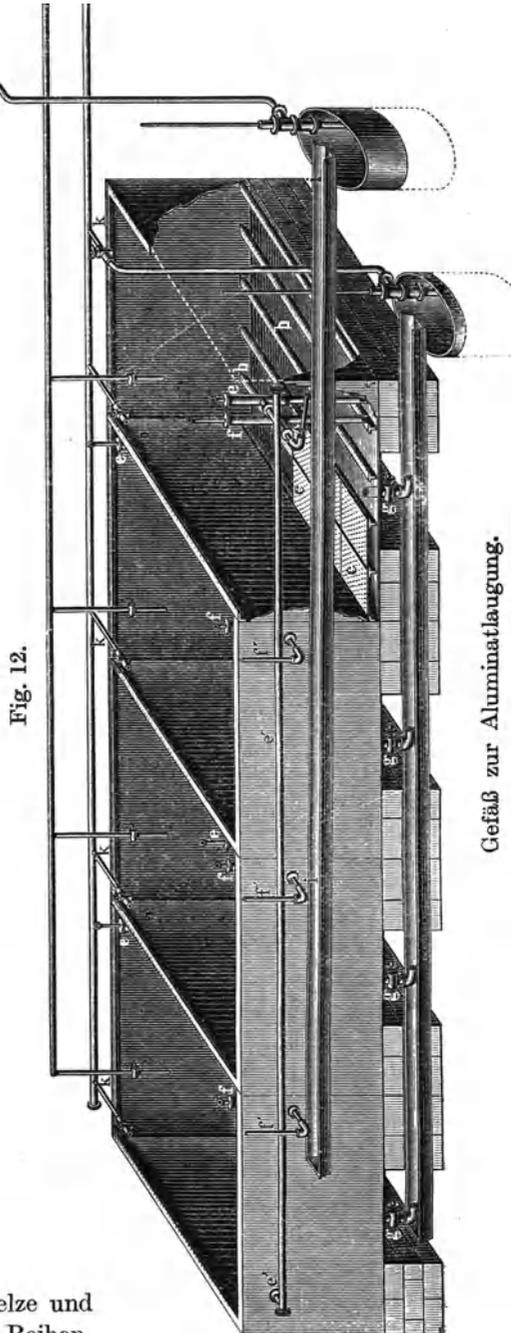


Fig. 12.

Gefäß zur Aluminatlaugung.

Die Endlauge wird bis auf etwa 12° Bé eingestellt. Sie kann dann weiterverarbeitet werden. Fällt man die Tonerde mit Kohlensäure, so kommt die Lösung in ein ähnliches System von Kästen, wie eben beschrieben wurde. In sie wird die Kohlensäure eingeleitet, die aus den Abgasen von Flammöfen oder durch Brennen von Kalkstein gewonnen worden sein kann. Die Firma Walter Feld & Co., Hönningen, verwendet natürliches, dem Erdboden entströmendes Kohlensäuregas. Das Gas wird vor Einleiten in die Kästen durch einen Waschapparat geschickt. Sobald das Gas im letzten Kasten nicht mehr absorbiert wird, entleert man den ersten und füllt ihn mit frischer Lösung. Die Kohlensäure strömt dann durch die Kastenfolge 2, 3, 4, 1 usw. Jedes Gefäß enthält etwa 1200 Liter und die völlige Ausfällung der Tonerde in diesem erfordert ungefähr 5 bis 6 Stunden. Die Temperatur wird auf 70° C gehalten. Bei tieferer Temperatur fällt die Tonerde nicht sandig, sondern gallertartig aus und läßt sich schwer filtrieren. Das ausgefällte Tonerdehydrat wird direkt in dem Fällbottich abgenutscht und sorgfältig mit Wasser ausgewaschen. Die vom Niederschlag abgesaugte Lösung wird eingedampft. Sie liefert das Natriumcarbonat zurück.

Das Tonerdehydrat wird bei 1000° C in der weiter oben beschriebenen Weise kalzinert.

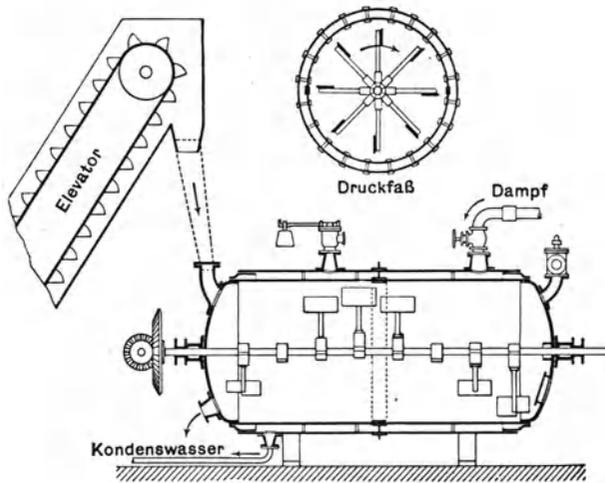
Dem Großbetriebe seien folgende Daten entnommen: Bauxit-Sodamischung 75 Proz. Bauxit, 25 Proz. kalz. Sodo. Der Aufschluß enthielt 28,17 Proz. Al_2O_3 , 0,24 Proz. SiO_2 . Der unlösliche Rückstand enthielt 2,64 Proz. SiO_2 , 3,73 Proz. Al_2O_3 , 23,12 Proz. Fe_2O_3 , 0,74 Proz. CaO , 0,7 Proz. MgO . Aus 174 kg rohem Tonerdehydrat erhält man nach dem Kalzinieren 100 kg Tonerde.

Wesentliche Verbesserungen in der Bauxitverarbeitung brachte das Verfahren K. J. Bayers, eines österreichischen Chemikers, der frühzeitig starb und die Früchte seiner hervorragenden Erfindung ebensowenig genießen konnte, wie seine Familie, die er in Armut zurückließ. Sein Verfahren wurde etwa seit 1887 allgemein bekannt. Zuerst im Ausland (Rußland, England, Belgien) eingeführt, gibt es gegenwärtig auch in Deutschland große Tonerdefabriken, die sein Verfahren, vielleicht teilweise abgeändert, benutzen.

Nach Bayer schließt man den roten Bauxit mit konzentrierten Alkalilaugen unter Druck auf. Geringerer Verbrauch an Brennstoff, größere Reinlichkeit und geringerer Arbeitsaufwand bei verminderten Reparaturen sind die wesentlichsten Vorteile gegenüber dem älteren Schmelzverfahren. Um die organischen Beimengungen zu zerstören, muß der feingemahlene Bauxit zwar auch geröstet werden, doch muß die Temperatur dabei so niedrig sein, daß die Löslichkeit des Tonerdehydrats nicht verringert wird (kein Totbrennen!). Der so vor-

bereitete Bauxit wird nun in eisernen Druckgefäßen (Fig. 13) von 3,5 m Länge, 1,5 m Durchmesser und 15 mm Wandstärke mit Natronlauge von 1,457 spez. Gew. ausgelaugt. Der Heizdampf tritt in einen Hohlmantel ein und bringt die Beschickung, die etwa 3 t beträgt, in kurzer Zeit auf 5 Atm. Druck, der unter fortwährendem Umrühren der Masse zwei bis drei Stunden aufrechterhalten wird. Man bläst dann den Schlamm durch eigenen Dampfdruck in hochstehende

Fig. 13.



Druckgefäß zum Auslaugen des gerösteten Bauxits mit Natronlauge.

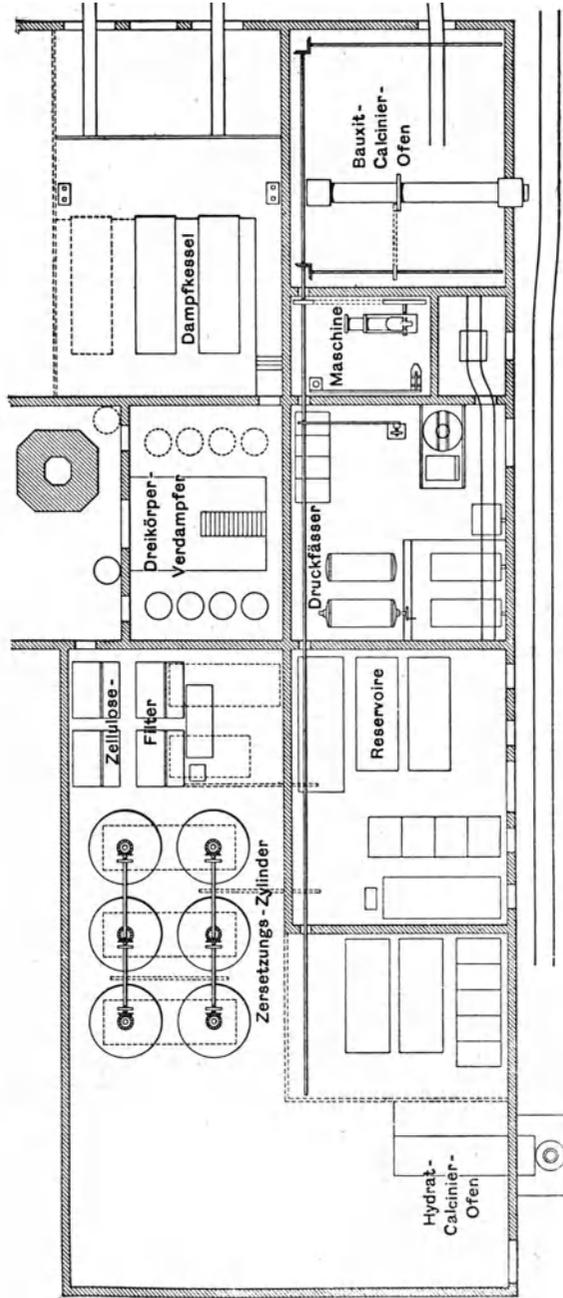
Behälter, in denen er auf 1,23 spez. Gew. verdünnt wird, um dann filtriert zu werden. Fig. 14 gibt den Grundriß der Fabrik in Larné-Haber wieder, deren Einrichtungen wohl zuerst an die Öffentlichkeit gelangten.

Ist der Bauxit, wie angegeben, fein gepulvert und enthält er nicht zu viel Kieselsäure, so wird die darin enthaltene Tonerde bis auf geringe Mengen gelöst, d. h. bis auf einen Restbetrag, der mit der etwa gelösten Kieselsäure samt der entsprechenden Menge Natron die bekannte unlösliche Verbindung $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 + 9\text{H}_2\text{O}$ bildet.

In dem roten französischen Bauxit mit 61 Proz. Al_2O_3 und etwa 3 Proz. SiO_2 werden nach Bayer regelmäßig 59 Proz. Tonerde gelöst, wenn Lauge und Bauxit in dem Verhältnis zusammengebracht werden, daß eine Lösung entsteht, in der ein molekulares Verhältnis von $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{Na}_2\text{O} = 1 : 1,75$ bis 85 vorliegt. Das Ergebnis entspricht dann einer Ausbeute von 95 Proz. der vorhandenen Tonerde.

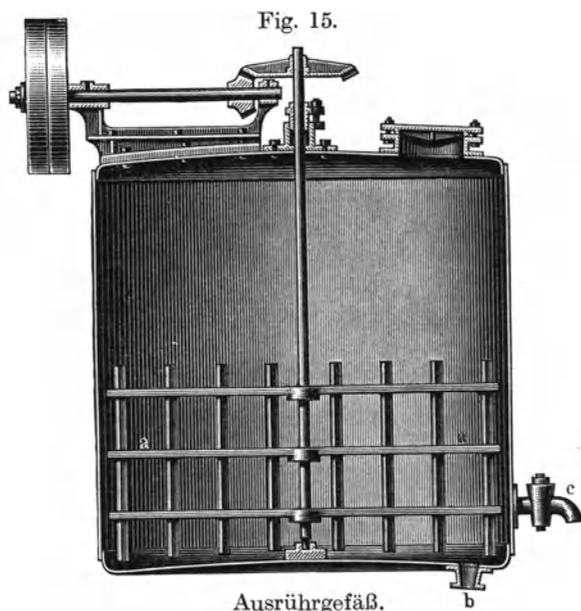
Die Fällung der gelösten Tonerde erfolgt nun nach dem schon weiter vorn beschriebenen „Impfverfahren“. Die Zersetzung und Abscheidung ist in etwa 36 Stunden beendet und geht gewöhnlich

Fig. 14.



Grundriß einer Tonerdefabrik nach Bayer.

so weit, daß das Verhältnis der noch in Lösung enthaltenen Tonerde (als Al_2O_3 ausgedrückt) zur Natronlauge (als Na_2O) 1:6 bis 1:8 beträgt (Rührbottich siehe Fig. 15). Die verdünnte, noch beträchtliche Mengen gelöste Tonerde enthaltende Natronlauge wird in Vakuumapparaten wieder auf das spez. Gew. 1,45 eingedickt und dann zum Auslaugen neuer Bauxitmengen verwendet.



Bayer gibt Versuchsergebnisse im Großmaßstab an: 4000 Liter frisch bereitete Aluminatlösung mit einem Gehalt von 61,95 g Al_2O_3 und 71,68 Na_2O im Liter wurden mit hinzugefügtem Tonerdehydrat bei verschiedener Dauer durchgerührt. Die Lösung enthielt noch Al_2O_3 nach:

12	23	36	48	72	84	Stunden
49,42	39,78	33,97	29,01	23,68	17,80	g Al_2O_3 .

Zuletzt bestand also in der Lösung das Verhältnis der Moleküle: $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Na}_2\text{O} = 1:5,87$.

Bemerkt mag noch werden, daß nach Bayers Angabe pulvrige oder raue Körper, wie Glaspulver, Sand oder selbst gallertartige Tonerdehydrate, die Zersetzung nicht einleiten können, wenn nicht etwa durch Kohlensäure der Luft sich ein wenig Tonerdehydrat derjenigen Modifikation bildet, die allein die Zersetzung herbeiführen kann.

Das eben dargestellte „nasse“ Verfahren der Tonerdegewinnung ist nun nicht nur um seiner Vorzüge willen in steigendem Maße im

Großbetrieb eingeführt worden, sondern hat auch infolge seiner Eigenart zu weiteren Verbesserungen und teilweisen Kombinationen mit dem alten Schmelzverfahren angeregt.

So behauptet die Firma Fr. Curtius & Co., Duisburg (D. R.-P. 175416), die Aufschließung des Bauxits ohne Druck und ohne Sodaschmelze durchführen zu können, wenn beim Lösen genau das Verhältnis von 1 Mol Al_2O_3 :1,7 Na(OH) eingehalten und der letzte Rest der gelösten Tonerde durch Kalkmilch zur Abscheidung gebracht wird. Nach Patent 165612, 1905, der Compagnie des Produits Chimique d'Alais et de la Camargue wirkt der Zusatz von 1 Proz. Aluminiumfluorid sehr günstig bei der Kalzination des ausgefällten Tonerdehydrats. Die Kalzinierung erfolgt dann schon bei 1200°C . Es entsteht eine konsistente Masse, aus der sich zugleich mit dem Fluorwasserstoff die letzten Reste des Hydratwassers verflüchtigen. Außerdem hat dieselbe französische Gesellschaft, D. R.-P. 339049, gefunden, daß beim Auslaugen unter einem Druck von 6 kg/qcm und einer diesem Druck entsprechenden Temperatur die gelöste Kieselsäure restlos ausfällt.

Die Chemische Fabrik Griesheim-Elektron schließt nach D. R.-P. 182775, 1905, den Bauxit ohne Druck mit Ätzkali oder -natron durch Erhitzen des Gemisches im ersteren Falle auf 180 bis 200°C , im letzteren Falle auf 500°C auf. Die Abgase des Kessels mit dem Bauxit-Ätzalkaligemisch heizen einen zweiten Kessel mit der zum Lösen bestimmten Lauge, die nach und nach zugesetzt werden muß, weil sonst ein zu starkes Schäumen eintritt. Die Lösung wird jedesmal so weit eingedampft, daß die Siedepunkte bei Kalianwendung 180 bis 200°C , bei Natronanwendung 350 bis 500°C betragen. Aus so hergestellten Aufschlüssen soll das Tonerdehydrat nach der Impfmethode leichter und vollständiger ausfallen als nach der älteren Arbeitsweise. In der von Griesheim eingerichteten Tonerdefabrik des Lautawerkes wird allerdings unseres Wissens nicht nach diesem Patent gearbeitet. Die Chemiker F. Hirsch und F. Russ wollen nach ihrem Patent 284601 eine höhere Ausbeute und größere Kraftersparnis dadurch erzielt haben, daß sie vor dem Ausfällen Ozon in die Lösung einbringen, während E. S. Fickes, Pittsburgh, nach einer Patentanmeldung (D. R.-P. 311368) die kraftverbrauchenden Rührvorrichtungen dadurch entbehrlich zu machen glaubt, daß er frischgefällte Tonerde in stetigem Strahl oder zeitweilig von oben in die Aluminiumlösung einbringt, die längere Zeit darin in der Schwebelage bleiben soll und so die nötigen Impfkern abgibt.

Auf eigenartige Weise sucht die Elektro-Osmose-A.-G. (Graf Schwerin A.-G.) nach D. R.-P. 305364 reines Aluminiumhydrat aus Alkalialuminaten zu erhalten. Durch Umgehung der im Bayerverfahren vorkommenden allzu großen Verdünnungen der Laugen,

durch den Wegfall des Rührprozesses und die Rückbildung des Natriumhydroxyds aus dem eben erst erzeugten Carbonat durch Kalzinieren werden große Energiemengen gespart. Außerdem gibt das alte alkalische Aufschlußverfahren ein schwer filtrierbares Produkt, das hartnäckig Natronlauge und Kieselsäure zurückhält. Das neue Verfahren versetzt das aus dem alkalischen Aufschluß gewonnene Natriumaluminat mit Schwefelsäure bis zur Neutralisation gegen Phenolphthalein. Aluminiumhydroxyd fällt als schleimiger Niederschlag aus. Die breiförmige Masse wird dann zwischen zwei Viskosediaphragmen einem Gleichstrom von 10 bis 15 Volt und 8 bis 10 A/qdm Elektrodenfläche ausgesetzt. Nach drei Stunden ist der Prozeß beendet. Im Anodenraum hat sich die Schwefelsäure bis auf 5 Proz. angereichert. Im Kathodenraum befindet sich das sofort wieder verwendbare Natriumhydroxyd. Zwischen den Diaphragmen bleibt das Aluminiumhydroxyd vollkommen rein zurück.

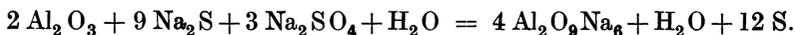
Endlich hat sich die Schweizerische Sodafabrik Zurzach im D. R.-P. 355301, 1921, ein Verfahren schützen lassen, nach dem geglühter und feingepulverter Bauxit mit konzentrierter Natronlauge bei einer aus der Konzentration sich ergebenden Temperatur, d. h. 120 bis 130° C, ohne Anwendung von Überdruck mit Hilfe eines Turbomischers emulgiert wird. Der Aufschluß soll schon in zwei Stunden beendet sein.

Noch eine dritte Methode, kieselsäurearme Bauxite aufzuschließen, verdient Erwähnung. Sie beruht im wesentlichen auf der Möglichkeit, an Stelle der Alkalikarbonate und -hydrate die billigeren Alkalisulfate und -sulfide in Reaktion treten zu lassen.

Ein Gemenge von Natriumsulfat und Bauxit kann Weißglühhitze ertragen, ohne daß eine Einwirkung stattfindet. Bei Gegenwart von Wasserdämpfen geht die Zersetzung aber vor sich, und es bildet sich Natriumaluminat. Mit größerer Leichtigkeit geht die Reaktion vor sich, wenn dem Gemisch eine gewisse Menge Kohle zugesetzt wird. Die Kohle begünstigt die Entwicklung von schwefliger Säure. Auch das Eisenoxyd des Bauxits zersetzt das Sulfat, allerdings erst bei sehr hohen Temperaturen. Unter Bildung von schwefliger Säure und Sauerstoff entsteht Eisenoxydnatron, das bei Behandlung mit heißem Wasser in Eisenhydroxyd und Natron zerfällt. Infolge des Eisengehalts des Bauxits gelangt in die durch Auslaugen der geglühten Masse erhaltene Lösung von Natriumaluminat eine störende Verbindung von Schwefelnatrium mit Schwefeleisen, deren Abscheidung mit großen Übelständen verbunden ist.

F. Raynaud behauptet allerdings in seinen Patenten aus dem Jahre 1896, daß die Gegenwart von Eisen ohne Einfluß auf das Ergebnis der Vorgänge sei, obwohl der Hauptinhalt seiner Patente den eben beschriebenen Reaktionen entspricht. Er behauptet, daß

eine Mischung von Bauxit, Natriumsulfid und -sulfat, geröstet, unter Abscheidung von Schwefeldämpfen und Reaktionswasser zur Bildung von Aluminat führt entsprechend der Gleichung:



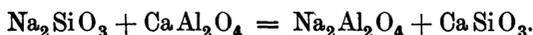
Ebenso leicht soll eine Mischung von Bauxit und Natriumsulfid, bei Gegenwart von Wasserdampf auf dunkle Rotglut gebracht, Natriumaluminat unter Freiwerden von Schwefelwasserstoff nach folgender Formel bilden:



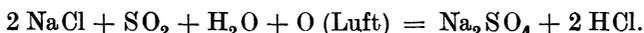
In seiner Patentschrift 180 554, 1905, und 185 030 betont Dr. Clemm, Mannheim, daß man den Nachteil, der bei der Bearbeitung des Bauxits entsteht, wenn man beim Glühen mit Natriumsulfat und Kohle ersteres im Überschuß verwendet, dadurch in einen Vorteil verwandeln kann, wenn man die Lauge nicht auf Natriumcarbonat, sondern -thiosulfat verarbeitet. Die beim Auslaugen der Reaktionsmasse entstehende grünliche Lauge hat man zu diesem Zwecke nicht mit Kohlensäure, sondern mit Schwefeldioxyd oder Schwefelwasserstoff in der Wärme zu behandeln, wobei sich Tonerde absetzt und Natriumthiosulfat bildet. Mit demselben Ziele, Tonerdehydrat einerseits, Natriumthiosulfat andererseits, arbeitet Dr. Hans Müller, Leopoldshall, Staßfurt, nach D. R.-P. 230 118, 1906. Nach ihm muß Bauxit, Natriumsulfat und Eisenoxyd mit Kohle brikettiert und reduzierend geglüht werden, wobei einem Äquivalentgewicht Tonerde ein Äquivalent Alkali, und einem Äquivalent Eisenoxyd zwei Äquivalente Sulfat entsprechen müssen. Die erkaltete körnige Masse wird mit Natriumsulphhydrat gelaugt und durch Bariumsulfid von Sulfaten und Karbonaten befreit. Das Natriumaluminat ist kieselsäure- und eisenfrei. Es wird auf 50 bis 60°C erwärmt und durch Schwefelwasserstoff in Tonerdehydrat gefällt. Die Sulphhydratlauge geht in den Schmelz- und Auslaugeprozeß zurück oder wird auf Thiosulfat verarbeitet. Chr. Aug. Beringer, Charlottenburg, empfiehlt nach D. R.-P. 244 221, 1911, Bauxit mit Bariumsulfat und Salzsäure oder mit Salpetersäure, Salzsäure, Calciumchlorid oder mit entsprechenden Mengen Baryt und Calciumchlorid zu glühen, um zunächst Bariumaluminat zu erhalten.

Eine Verwertung im Großbetrieb haben die angeführten Patentideen unseres Wissens nicht gefunden. Wohl aber gilt dies von den in dieses Kapitel der Bauxitbearbeitung gehörenden Patenten Peniakoffs. Er erinnert zunächst daran, daß nach Patent 116 575 die doppelte Umsetzung Alkalisilikat—Calciumcarbonat möglich ist, und knüpft daran sein Verfahren zum Abscheiden der Kieselsäure

aus Alkalialuminaten. D. R.-P. 221 376, 1908. An Stelle von Kalk verwendet der Erfinder Calciumaluminat und benutzt die Reaktion:



Das hierzu nötige Calciumaluminat bereitet er sich durch Kalzinierung von Bauxit mit äquivalenten Mengen Kalk oder besser gefällttem Calciumcarbonat. Das Hauptpatent Peniakoffs ist D. R.-P. 247763, Verfahren zur ununterbrochenen Gewinnung von Alkalialuminaten aus dem Gemenge von tonerdehaltigen Mineralien, Alkalisulfat + Kohle oder Sulfiden unter Wiedergewinnung des Alkalisulfats. Der Prozeß verläuft in zwei hintereinandergeschalteten Drehrohrofen. Der erste ist mit einer Bauxit-Natriumsulfat-Kohlemischung beschickt und wird mit einem Gas-Luftgemisch oder mit Hilfe von Dampf oder Druckluft, eingeblasenem Kohlenstaub oder flüssigem Brennmaterial geheizt. Die Mischung tritt vollkommen kalziniert am unteren Rohrende aus und gelangt in ein zweites Rohr, wo es abkühlt, während die durchstreichende Luft die Wärme aufnimmt und dem Ofen wieder zuführt. Die gleichzeitig entstehende schweflige Säure wird, mit überhitztem Wasserdampf und Luft gemischt, einem zweiten Drehrohrofen zugeführt, der mit feingepulvertem eisenhaltigen Bauxit und Kochsalz beschickt ist. Hier erfolgt die Reaktion:



Das anwesende Eisenoxyd wirkt dabei als Kontaksubstanz. Die freiwerdende Salzsäure wird aufgefangen, das entstandene Bauxit-Natriumsulfatgemisch wandert in den ersten, den Aluminatofen.

Die Verarbeitung von Aluminiumsilikaten.

Die von uns bisher beschriebenen Methoden der Tonerdegewinnung sind nur anwendbar auf kieselsäurearme Bauxite. Sie versagen bei kieselsäurereichen Bauxiten und noch mehr bei tonerdehaltigen Mineralien, deren Aluminiumoxyd an Siliciumoxyd gebunden ist, also bei Aluminiumsilikaten. Nun liegen aber gerade Aluminiumrohstoffe dieser Art in überreichem Maße vor. Sie der Aluminiumgewinnung dienstbar zu machen, ist deshalb ein ganz besonders lockendes Problem, das im Laboratorium schon verschiedentlich gelöst worden ist. Doch hat sich bisher keine Lösung als so wirtschaftlich erwiesen, daß sie die in der Technik herrschenden Methoden der Bauxitverarbeitung aus dem Felde schlagen konnte. Für Deutschland gewinnt das in Rede stehende Problem besonders dann die allergrößte Bedeutung, wenn ihm die allein brauchbaren ausländischen Bauxite aus irgendwelchen Gründen nicht mehr zugänglich sein sollten. Askenasy sagt zwar für diesen Fall voraus, daß dann nicht Tonerde, sondern Chloraluminium das Endprodukt ihrer chemischen

Verarbeitung sein und daß die Aluminiumelektrolyse sich dann einer der alten Methode Bunsens nachgebildeten zuwenden wird. Trotzdem sei es uns gestattet, einige der neuesten, wie uns scheint, auf guter experimenteller Grundlage ruhende Verfahren anzuführen, wenn wir es uns auch versagen müssen, alle Erscheinungen der Patentliteratur, die unter dieses Kapitel gehören, zu erörtern.

Mit Salz-, Salpeter- und Schwefelsäure hat man Aufschlüsse tonhaltiger Mineralien versucht. Man hat erkannt, daß die Fähigkeit, Aluminiumsilikate aufzuschließen, nicht bloß durch die Beschaffenheit der jeweilig zur Verwendung kommenden Säure bedingt ist, sondern ganz außerordentlich auch von der Natur der betreffenden Mineralien abhängt. So glaubt man jetzt durch ein Verfahren von Dr. Gian Alberto Blanc in Rom (D. R.-P. 361959 und 379511) die Ausbeutung der italienischen Leucitlager am Vesuv auf Aluminiumoxyd und Kali wirtschaftlich vorteilhafter durchführen zu können, als die von Bauxiten. Die Rohstofflager sind ganz außerordentlich groß. Allein 1916 hat der Vesuv 200 Millionen Tonnen vulkanischer Aschen ausgeworfen, deren Gehalt an Kali 18 bis 20 Proz. und an Aluminiumoxyd 22 bis 24 Proz. betragen soll. In den Werken der Elettrochimica Pomilio bei Neapel werden gegenwärtig Versuche im technischen Ausmaße durchgeführt. Der Aufschluß erfolgt mit Salzsäure, die selbst synthetisch aus elektrochemisch gewonnenem Chlor und Wasserstoff, dem Nebenprodukt der elektrochemisch hergestellten Natronlauge erzeugt wird.

Durch Kochen mit Salzsäure von bestimmter hoher Konzentration erhält man eine Lösung von Kalium- und Aluminiumchlorid. Beim Abkühlen auf gewöhnliche Temperatur fällt ein großer Teil des ersteren Salzes aus, während letzteres infolge seines hohen Löslichkeitsvermögens gelöst bleibt. Das Aluminiumchlorid fällt man nunmehr aus, indem man Chlorwasserstoffgas durch die Lösung schickt, das das Lösungsvermögen des Aluminiumchlorids stark vermindert. Wie die Erfahrung lehrt, erhält man jedoch nur dann reines Aluminiumchlorid, wenn es vor Einleiten des Gases auf 70°C erwärmt wird. Bei dieser Temperatur ist die Löslichkeit des Kaliumchlorids auch in stark salzsaurer Lösung groß genug, um ein Ausfallen unmöglich zu machen. Nach Abscheidung des Aluminiumchlorids, das in kristallinem Zustand ausgefallen ist, wird abermals abgekühlt, wobei aus der salzsaurer Lösung noch so viel Kaliumchlorid ausfällt, als es die bei niedrigster Temperatur zur Sättigung der sauren Lösung erforderliche Menge übersteigt. Die bei diesem Verfahren zuletzt verbleibende, noch stark saure Lösung benutzt man zum Aufschließen neuer Leucitmengen. Die Ausführungsform des Verfahrens ist endlich noch dadurch gekennzeichnet, daß man zur Erwärmung der nur noch geringe Mengen Kaliumchlorid enthaltenden Lösung, aus der das

Aluminiumchlorid entfernt werden soll, die bei der Sättigung der Lösung mit Salzsäure entstehende Wärme benutzt.

Geradezu als Versuch, die weiter oben angeführte Ansicht Askenasys in die Wirklichkeit umzusetzen, erscheint das Patent 364740, 1921, von Gerhard Berger und Werner Kühne, Halle. Nach ihren Angaben suchen sie das frühere Verfahren der Metallgewinnung durch Natriumchlorid - Aluminiumchloridelektrolyse neu zu beleben. Zu diesem Zwecke erhitzen sie zunächst ein Gemisch von Ton mit Pyrit auf 500° C. Sodann glühen sie das Reaktionsprodukt (basisches Aluminiumsulfat) nach Zusatz von Kohle in einem Chlorstrom, der aus Chlornatrium erhalten wird. Das entstandene, als Kondensat erhaltene Aluminiumchlorid wird mit Kochsalz unter Zusatz von Kaliumchlorid und Strontiumchlorid nach bekanntem Verfahren elektrolysiert.

Die Schwierigkeiten, im Großbetrieb mit Chlor in der angedeuteten Weise zu arbeiten, hat die Erfinder zu dem Zusatzpatent 379627, 1922, veranlaßt. Sie wollen danach das im Großbetrieb unhandliche Chlorgas, entbehrlich machen und das ganze Verfahren verbilligen, indem sie den Aufschluß der Tone 1. durch Verwendung geringwertiger Eisenkiesschiefer (aus Gräfenal, Saalfeld und Kottbus) an Stelle des teureren Pyrits ausführen, und 2. das Chlorgas durch Magnesiumchlorid unter Mitwirkung von Schwermetallkatalysatoren, z. B. kohlenstoffhaltige Eisenspäne, ersetzen.

D. R.-P. 380 502 von Dankwardt, Vereinigte Staaten von Amerika, läßt Chlor, das elektrolytisch aus Metallchloriden in Freiheit gesetzt worden ist, auf Aluminiumverbindungen und Kohle wirken. Das Gemisch befindet sich im Anodenraum der Metallelektrolyse. Das Aluminiumchlorid entsteht und destilliert ab.

Auch die Höganäs Bellesholms Aktieboleg erstrebt nach D. R.-P. 339788 die Aufschließung aluminiumhaltiger Stoffe durch Salzsäure. Durch Sättigen der Lösung mit Chlorwasserstoff wird das Aluminiumchlorid in den kristallinen Zustand gebracht. Dabei wird insofern für einen kontinuierlichen Betrieb gesorgt, als während des Ausfalls der Kristalle frische Lösung von unten zugeführt wird, die die mit Salzsäure gesättigte verdrängt. Durch Kalzinierung werden die Kristalle zerstört und in Tonerde übergeführt.

Besonders von norwegischen Forschern ist die Aufschließbarkeit gewisser feldspatreicher Aluminiumsilikate durch Salpetersäure untersucht worden. Unter den in Betracht kommenden Gesteinen hat sich vor allem der in ganzen Felsen anstehende Labradorstein zur Tonerdegewinnung geeignet erwiesen. Man hofft mit der planmäßigen Ausnutzung dieses leicht zu bearbeitenden Rohstoffes nicht nur vom Bezug ausländischer Bauxite befreit zu werden, sondern sogar mit anderen Aluminium erzeugenden Ländern überlegen in

Wettbewerb treten zu können. Die norwegischen Bestrebungen verdienen um so mehr die größte Beachtung, als sie nicht hochwertige, für keramische Zwecke brauchbare Rohstoffe beanspruchen, sondern mit ganz billigem, auch in Deutschland reichlich vorhandenem Material unter geringem Arbeits- und Brennstoffaufwand die Gewinnung reiner Tonerde zu gestatten scheinen.

Ein Beispiel von Salpetersäureaufschluß bietet zunächst das Patent der Norske Aktieselskab for Elektrokemisk Industri, Norsk Industri Hypotekbank, D. R.-P. 339211. Danach erfolgt das Aufschließen von Tonen, Tonschiefern, Kaolin, Halloysit, Bauxit und Laterit durch Erhitzen auf schwache Rotglut und nachfolgende Behandlung mit verdünnter Salpetersäure. Die Tonerde geht hierbei in Lösung, während Eisen und Kieselsäure zurückbleiben, wenn man in schwach reduzierender Atmosphäre erhitzt, wodurch alles Fe_2O_3 in Fe_3O_4 verwandelt wird, das in verdünnter Salpetersäure unlöslich ist. An Stelle der letzteren lassen sich auch nitrose Gase und Wasser im Gegenstrom verwenden. Die Aluminiumnitratlösung wird mit Ammoniak versetzt. Es fällt Aluminiumhydroxyd, das zu Oxyd kalziniert wird, und Ammoniumnitrat bleibt in Lösung. Nach dem weiteren Patent (D. R.-P. 339819) derselben Gesellschaft kann man auch plagioklasreiche Gesteine mit nitrosen Gasen und Wasserdampf bei 300 bis 600°C aufschließen. Natrium- und Kaliumnitrate gehen mit Wasser in Lösung. Aluminium bleibt als Aluminiumhydroxyd mit Eisen und Kieselsäure zurück. Der Rückstand wird mit Säuren (Schwefelsäure, Salzsäure, Salpetersäure) behandelt. Es entstehen lösliche Aluminiumverbindungen, während Eisen und Kieselsäure zurückbleiben. Aus der Lösung wird das Aluminium als Hydroxyd gefällt.

Ein technisch gut durchgebildetes Verfahren der Tonerdegewinnung aus Nitrataufschlüssen entwickelt auch Prof. H. J. Goldschmidt in seinem Patent 339983. Auch er empfiehlt für sein Verfahren Plagioklasgestein, weil in diesem das vorhandene Eisen in einer im Vergleich zur Tonerde schwer löslichen Form (als Hypersten, Almandin, Diallag, Epidot) vorhanden ist. Sein Verfahren beruht auf der Entdeckung, daß zwischen der Temperatur der vollständigen Spaltung des Aluminiumnitrats und der Temperatur beginnender Zersetzung der sonst noch anwesenden Nitrats (des Calciums, Kaliums, Natriums, Eisens usw.) ein gewisses, wenn auch kleines Intervall besteht. So schließt er z. B. gepulverten Labradorstein mit Salpetersäure auf, indem er ihn zuvor durch Erhitzen teilweise zersetzt. Die unzersetzten Massen werden dann mit verdünnter Salpetersäure ausgelaugt, etwa entweichende nitrose Gase in Salpetersäure zurückverwandelt und zum Aufschluß neuer Mengen verwendet. Die gewonnene Nitratlösung enthält ungefähr 7 g Al_2O_3 , 0,7 g Na_2O und

3,5 g CaO in 100 ccm. Das Eisen kann man vom Aluminium trennen, indem man 1. die leichtere Zersetzbarkeit des Eisennitrats beim Erhitzen ausnutzt — bei 150°C entstehen in kurzer Zeit unlösliche Eisenverbindungen — oder 2. die im Vergleich zu Aluminiumoxyd leichtere Löslichkeit des Eisenoxyds in Säuren verwertet, indem man das nach obigem Verfahren erhaltene Aluminiumoxyd mit solchen behandelt. Nach Entfernung des Eisens wird bis auf 11 g Al_2O_3 in 100 ccm eingedampft, wobei keine Säureverluste eintreten. Nunmehr wird allmählich bis auf 300°C erhitzt, wobei die Säure mit steigender Konzentration und zuletzt in Form von nitrosen Gasen übergeht. Alle flüchtigen Gase und Dämpfe werden wieder in Salpetersäure übergeführt und erneut im Betrieb verwendet, so daß nur geringe Säureverluste entstehen. Der Rückstand besteht noch aus Aluminiumoxyd, Calcium- und etwas Natriumnitrat. Er wird mit Wasser ausgewaschen und bei 1000°C verglüht. Chemisch reines Aluminiumoxyd mit Verunreinigungen unter 1 Proz. verbleibt als Ergebnis.

Endlich sei noch erwähnt Patent 365 348, Eigentum der schon genannten norwegischen Gesellschaft für Elektrochemie. Nach diesem Patent werden Plagioklasgesteine mit verdünnter Mineralsäure behandelt, besonders der schon mehrfach genannte Labrador mit 40 bis 75 Proz. Anorthit, einem leicht aufschließbaren Calciumaluminiumsilikat. 4 kg dieses Gesteins, das 25 Proz. Al_2O_3 enthält, wurden z. B. mit 6,75 Liter Salpetersäure (spez. Gew. 1,35) zwei Stunden gekocht. Dabei gingen 858 g Al_2O_3 als Nitrat in Lösung. Die Konzentration der ursprünglich 30proz. Salpetersäure stieg während des Kochens bis zu der zulässigen Höchstgrenze von 56 Proz.

Eine dritte Gruppe von Tonerdeforschern hat es versucht, tonerdehaltige Mineralien mit Schwefelsäure oder schwefelsauren Alkalien und Erdalkalien aufzuschließen. Besonders deutsche Forscher haben sich bemüht, eine wirtschaftlich brauchbare Lösung des Problems der Tonerdegewinnung aus Aluminiumsilikat mit Hilfe der genannten Säure zu finden, und ihre Ergebnisse in Patenten sichergestellt. Auch hier müssen wir auf Lückenlosigkeit verzichten.

Schon Winteler beschreibt in der ersten Auflage dieses Buches auf Grund älterer Patente die Darstellung der Tonerde aus „weißem Bauxit, Pfeifenton oder Kaolin“ durch sauren Aufschluß mittels Schwefelsäure. Danach wird das möglichst eisen-, calcium- und magnesiumfreie, fein gemahlene Material mäßig geglüht, um ihm mehr Porosität zu geben. Dann wird es in Bleibehälter geschüttet, mit sogenannter Gloversäure (spez. Gew. 1,72) übergossen und durch eingeblasenen Dampf beinahe zum Sieden erhitzt, wobei die Konzentration der Säure allmählich auf ein spezifisches Gewicht von 1,45 bis 1,47 herabgedrückt wird. Am Ende der Reaktion

fügt man anfänglich heißes, später kaltes Wasser zu, bis die Mischung ein spezifisches Gewicht von 1,2 zeigt. Hieraus wird das Eisen mit Ferrocyankalium, Schwefelcalcium, das durch Glühen von Gips und Kohle dargestellt werden kann, oder Oxalsäure entfernt, wobei man bei der zuletzt genannten Säure von der geglühten, noch nicht mit Schwefelsäure behandelten Substanz ausgehen muß. Mit den alkalischen Bauxitaufschlüssen kann dieses Verfahren in wirtschaftlicher Hinsicht wegen der kostspieligen Enteisenung nicht konkurrieren.

Dieser letzteren Frage hat H. Frischer, Zehlendorf bei Berlin, D. R.-P. 317633, 1918, seine Aufmerksamkeit zugewendet. Ausgehend von der Erfahrung, daß die Enteisenung mit Ferrocyankalium zu teuer und technisch schwierig ist, versucht er dadurch zum Ziele zu kommen, daß er basisches Eisenoxyd erzeugt, das aus den Lösungen ausfällt. Zu diesem Zwecke verwandelt er das als Oxydsalz vorhandene Eisen durch Reduktionsmittel, die gleichzeitig die freiwerdenden Säuremoleküle binden, in Oxydulsalz und unterwirft dieses einer Oxydation, wodurch ein unlösliches basisches Eisenoxyd entsteht, ohne daß Tonerde ausfällt. Z. B. $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{BaS} = 2\text{FeSO}_4 + \text{BaSO}_4 + \text{S}$ und $2\text{FeSO}_4 + \text{BaO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}_2(\text{OH})_4\text{SO}_4 + \text{BaSO}_4$. Die Reduktion erfolgt auch durch Eisenspäne oder Aluminiumabfälle, die Oxydation durch Natriumsuperoxyd, z. B. $2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Fe}_2 = 6\text{FeSO}_4$ und $6\text{FeSO}_4 + 3\text{Na}_2\text{O}_2 + 3\text{H}_2\text{O} = 3\text{Fe}_2(\text{OH})_4\text{SO}_4 + 3\text{Na}_2\text{SO}_4$.

In den Jahren 1912 bis 1916 hat auch Max Buchner, Heidelberg, in einer Anzahl von Patenten (299121, 1912, 299781, 1913, 301675, 1914, 302412, 1914, 303923, 1916) Wege aufzufinden sich bemüht, die vom Aluminiumsilikat auf technisch und wirtschaftlich mögliche Weise zur reinen Tonerde führen.

Der alkalische Aufschluß ist nach seiner Überzeugung wegen des hohen Kieselsäuregehaltes unmöglich. Der saure Aufschluß aber scheidet am Eisen. Hier setzt seine Forschung ein. In seinem ersten Patent schlägt er vor, die filtrierte Aluminiumlösung mit Ammoniak zu fällen, doch ist dies im Großmaßstabe nur unter gewissen Arbeitsbedingungen möglich. So erweist sich die Einführung gasförmigen Ammoniaks vorteilhafter als die von wässrigem, weil der Niederschlag sandiger wird und sich besser filtrieren läßt. Die filtrierten Hydroxyde werden abgesaugt und ausgewaschen, Filtrat und Waschwasser zu Ammonsulfat verarbeitet und das Gemisch von Aluminium- und Eisenhydroxyd mittels heißer Natronlauge getrennt, da bei diesem Prozeß Eisenhydroxyd im Niederschlag bleibt, während Aluminium als Natriumaluminat in Lösung geht, das in bekannter Weise weiter verarbeitet werden kann. Zur Gewinnung des im Betrieb nötigen Ammoniaks schlägt der Erfinder die Verwendung ammoniakalischer Abgase (Kokerei- oder Mondgas) vor. Überraschend

an dem Verfahren ist die Beobachtung, daß sich das Aluminiumhydroxyd, entgegen den Erfahrungen des analytisch arbeitenden Chemikers, bei Versuchen im großen pastenartig, mit sandiger Grundform abscheidet und sich infolgedessen leicht auswaschen und reinigen läßt. Die Vereinigung eines sauren mit einem alkalischen Verfahren über die Brücke des Ammoniaks bringt nach Behauptung des Erfinders als technische Vorteile Kraft- und Brennstoffersparnis, Verwertbarkeit billiger Rohstoffe und durch Gewinnung wertvoller Nebenprodukte (Ammonsalz) eine beträchtliche Verbilligung im Vergleich zu dem alten sauren Silikataufschluß.

Eine Fortsetzung zu obigem Patent ist gewissermaßen D. R.-P. 301675. Danach wird festgestellt, daß der gefürchtete schleimige Niederschlag des Aluminiumhydroxyds nur aus verdünnten Lösungen ausfällt, daß man aber Alkali, Erdalkali, Ammoniak und dessen organische Derivate benutzen kann und stets einen pasten- und seifenartigen Niederschlag erhält, der sich leicht auswaschen und reinigen läßt, wenn man konzentrierte Lösungen benutzt.

Als zweckmäßigste Konzentration haben sich 400 g wasserhaltiges Aluminiumsulfat im Liter erwiesen. Ein weiterer Gegenstand der Erfindung ist die wichtige Beobachtung, daß mit Vorteil Ammoniak im Überschuß verwendet wird, da dann der Niederschlag körniger ausfällt.

In dem Zusatzpatent 302412 aus dem gleichen Jahre stellt der Erfinder noch fest, daß es günstig ist, wenn die Metallsalzlösung nicht mit dem Fällungsmittel versetzt, sondern umgekehrt die konzentrierte Aluminiumsalzlösung in die Fällung bewirkende Flüssigkeit eingegossen wird. Auch empfiehlt er, statt der Aluminiumlösungen feste Salze in das konzentrierte Ammoniak einzubringen. In dem Patent 299781 aus dem Jahre 1915 wird empfohlen, die Sulfate erst in die Chloride überzuführen, die sich besser fällen lassen und als Nebenprodukte die sublimierbaren Ammoniumhaloidsalze ergeben. Zweckmäßig benutzt man solche Metallhaloide, die unlösliche oder schwer lösliche Sulfate ergeben (z. B. Ca, Sr, Ba, Pb, K). Gerade Kaliumchlorid ist sehr zweckmäßig, weil sich Kaliumsulfat leicht auskristallisiert und die Umsetzung des Chlors mit Ammoniak sich glatt vollzieht. Mit Vorteil kann man Kaliumchlorid und Aluminiumsulfat gemeinschaftlich in Wasser lösen und dann Ammoniak hinzugeben. Es entsteht Ammoniumchlorid, das die Hauptmenge Kaliumsulfat enthält. Was das ausfallende Aluminiumhydroxyd an Salz mitgerissen hat, wird durch Waschen mit Wasser leicht entfernt. Mit Vorteil kann man auch Ammonchlorid und Kaliumsulfat gemeinschaftlich eindampfen und daraus das Chlorid abrauchen. Endlich kann man die Reinigung und Trennung durch unmittelbares Subli-

mieren ausführen. Aluminiumsulfat und Kaliumchlorid werden gelöst und Ammoniak eingeführt. Die Lösung wird eingedampft und sublimiert. Aus dem Rückstand wird Kaliumsulfat ausgewaschen. Die Einführung des Kaliumchlorids in den Tonerdeprozeß bringt nach Ansicht des Erfinders technische und wirtschaftliche Vorteile. Sie bestehen in Überführung der Schwefelsäure in hochprozentiges Kaliumsulfat, in der Überführung des Chlors in Ammoniumchlorid, ohne die Mißstände der Erzeugung und Verwendung von Salzsäure, die bisher den Aufschluß von Tonerdeverbindungen mit Salzsäure unmöglich machten, und Ausfällung von Aluminiumhydroxyd in sandiger, leicht filtrierbarer Form, frei von basischen Salzen.

Für die Zwecke der Aluminiumfabrikation besonders geeignete Tonerde erhält man nach Buchners letztem Patent 303923, 1916, wenn man zwar mit Schwefelsäure aufschließt und den größeren Teil derselben mit Ammoniak abstumpft, dabei aber in besonderer Weise vorgeht. Dies geschieht, indem man das erhaltene Aluminiumsulfat, fest oder in konzentrierter Lösung mit konzentriertem Ammoniak behandelt. Man erhält basische ammoniak- und schwefelsäurehaltige Aluminiumverbindungen in Form eines sandigen Niederschlags, aus dem sich Ammoniak und Schwefelsäure technisch sicher entfernen lassen. Es ist wichtig und gehört zum Wesen der Neuerung, daß der Niederschlag vollständig ausgewaschen worden ist, bevor er getrocknet und geglüht wird. Rückstände von Ammonsulfat könnten sonst eine teilweise Rückbildung zu Aluminiumsulfat bewirken, wodurch die günstigen Umstände der Neuerung vereitelt würden. Es ist bemerkenswert, daß Buchner nicht wie bisher aus einer Aluminiumsulfatlösung mittels Ammoniaks Tonerdehydrat (durch Eisenhydrat verunreinigt) abscheidet, sondern die Gewinnung von Ammonalaun erstrebt, weil dieser die Eigenschaft hat, eisenfrei aus eisenhaltigen Lösungen auszukristallisieren. Zum Aluminiumoxyd gelangt er schließlich, indem er das ausgewaschene Ammoniumaluminiumsulfat allmählich bis auf 950° C erhitzt.

Die zuletzt beschriebene Arbeitsweise erinnert übrigens an die aus den Jahren 1906/07 stammenden Patente Rinmanns, Upsala, 198707 und 201893. Auch er macht sich die eben erwähnte Eigenschaft des Ammonalauns zunutze. Dabei knüpft er selbst an ein älteres Patent (70549 von J. Heibling) an. In diesem war ein Verfahren entwickelt, aus Ton mittels Alkalisulfat Tonerde und Alkali-alaun zu erzeugen. Das Verfahren hat nie praktische Bedeutung gewonnen, da es mehrere Übelstände aufweist. So gelingt es nicht, die Alaunlösung genügend kieselsäurefrei zu halten, das Auswaschen des Kaliumsulfats ist wegen dessen Schwerlöslichkeit umständlich und teuer und die Enteisung mit gelbem Blutlaugensalz ist, wie schon an anderer Stelle gesagt wurde, viel zu kostspielig und technisch

schwer durchführbar. Rinmann hat nun das Verfahren dadurch verbessert, daß er die bisher unbekannte Tatsache, daß tonhaltige Substanzen direkt mit Ammonsalzen zersetzbar sind, ausnutzt, indem er das gepulverte Rohmaterial bei 400°C erhitzt, wodurch folgende Reaktion eintritt: $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{SiO}_2)_x + 3(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 = \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 6\text{NH}_3 + (\text{SiO}_2)_x + 3\text{H}_2\text{O}$. Doch ist der Reaktionsverlauf nicht so einfach. Es entsteht zunächst ein Doppelsalz aus Ammon- und Aluminiumsulfat, ein Ammonalaun. Arbeitet man nun so, daß kein Ammonsulfat im Überschuß vorhanden ist, so bleiben beim Auslaugen des Reaktionsgutes Kieselsäure und Eisenoxyd zurück, während Alaun und Aluminiumsulfat in Lösung gehen, die leicht weiter verarbeitet werden können.

Das zweite Rinmannsche Patent (201893, 1907) empfiehlt, das tonhaltige Rohmaterial mit Ammonsulfat bei Gegenwart von überschüssigem Wasserdampf aufzuschließen (Hydrolyse!), den auskristallisierten Ammonalaun oder das Aluminiumsulfat hierauf entweder mechanisch zu pulverisieren oder schon während der Abscheidung durch Störung der Kristallisation für die Bildung kleiner Kriställchen zu sorgen. So vorbereitetes Reaktionsgut in konzentriertes Ammoniak eingeführt, ergibt einen sandigen Niederschlag, der sich sehr gut auf Tonerdehydrat verarbeiten läßt.

In anderer Weise versucht die Firma J. D. Riedel A.-G., Berlin-Britz, die Schwierigkeit zu meistern, eisenfreie Aluminiumsalzlösungen aus Silikaten zu gewinnen. Ihre Erfahrungen sind in den Patenten 368650, 1917, 375703, 1920 und 386614, 1922, für eigene Auswertung geschützt. Sie arbeitet mit Ammonsulfat und Ammoniumkaliumsulfat. Das zuletzt genannte Patent knüpft an die bekannte Tatsache an, daß Silikataufschlüsse mit den angeführten Reagenzien bei einer Erhitzung von 250 bis 400°C unter Bildung von Ammoniak und Kalialaun unschwer zu erhalten sind. Schwierigkeiten erwachsen dieser Methode erst bei ihrer Durchführung im großen. Die Tonerdeindustrie arbeitet durchweg mit großen Drehröstöfen. Nun verbietet aber die Natur des Röstgutes die sonst übliche Innenbeheizung mit Generatorgas. Das Ammoniak würde durch dieses zu Stickstoff abgebaut. Die allgemein verlassene Außenbeheizung aber gestattet, abgesehen von übermäßigem Brennstoffverbrauch, keine genaue Einhaltung der Rösttemperatur. Darauf aber kommt es vor allem an. Die Lösung der gestellten Aufgabe ist nun dadurch gelungen, daß die Drehröstöfen mit Hilfe von Druckwasserröhren beheizt werden, die sie in ihrer ganzen Länge durchziehen. Durch diese Anordnung erzielt man 1. einen einwandfreien Aufschluß, da die Temperatur des Reaktionsgemisches genau reguliert werden kann, 2. die Möglichkeit saubersten Arbeitens, 3. geringen Verschleiß der Apparatur und 4. bedeutende Brennstoffersparnis.

Um die noch eisenhaltigen Ammonaluminiumsulfatlösungen eisenfrei zu machen, geben die beiden älteren der eben angeführten Patente beachtliche Verbesserungen alter, an sich schon bekannter Methoden. So ist das D. R.-P. 368650 dadurch gekennzeichnet, daß man den Alaun unter Störung der Kristallisation aus einer Lösung auskristallisieren läßt, die zuvor eine Zugabe von überschüssigem Ammonsulfat und eine genügende Menge einer Base erhalten hat, so daß nach Kristallisation des Alauns das vorhandene Eisenoxysulfat in Form basischer Salze in Lösung bleibt. Wesentlich für das In-Lösung-bleiben dieser Salze ist der ausreichende Überschuß an $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Die Patentschrift 375703, 1920, sucht den zuletzt genannten Anspruch auf Grund der inzwischen durch Großversuche gewonnenen Erfahrungen dahin zu verbessern, daß sie die Kristallisation des Alauns nicht sofort nach Zusatz von Ammoniak einleitet, sondern längere Zeit die Lösung auf 75 bis 80°C erwärmt, weil dadurch der kolloidale Zustand des basischen Eisensalzes sich ausbilden kann, der sich durch tiefdunkelrote Färbung der Lösung bemerkbar macht. Das allmähliche Abkühlen endlich erfolgt am besten unter beständigem Umrühren, wodurch die Bildung kleiner Kristalle erreicht wird, die weniger durch die Bildung von Mischformen mit dem Eisensalz verunreinigt sind als große.

L. Hess, der gleichfalls den Aufschluß von Kaolin mit Ammonsulfat oder Ammoniumkaliumsulfat bewirkt, rügt an dem Heibling-Rinmannschen Verfahren die in der Praxis häufig unzureichende Ausbeute an aufgeschlossenem Aluminiumoxyd. Er hat nun die Beobachtung gemacht, daß gepulvertes Kaolin, mit den genannten Salzen gemischt, eingedampft und nunmehr trocken oder feucht längere Zeit gelagert, nach anschließendem fünfstündigen Rösten eine viel höhere Ausbeute erbringt, als sofortiges Verarbeiten. So gibt z. B. eine viertägige Lagerung 24 Proz., eine 60tägige 89 Proz. der theoretischen Ausbeute an Aluminiumhydroxyd. Durch Patent 360 201, 1919, hat er sich diese Arbeitsweise schützen lassen.

Die Aktieselskabet Norsk Aluminium Company schließt nach Patent 380 234, 1919, kalihaltige Tone mit Schwefelsäure dadurch auf, daß sie die Bildung von Kaliumsulfat derart verwertet, daß es als Darstellungsmittel für Kalialaun verwendet wird. Als Vorteil des Verfahrens rühmt die Erfinderin, daß Kalialaun im Betrieb zirkulieren kann, Ammonalaun nicht.

Man verfährt dabei so: Mit Kammersäure — stärkere empfiehlt sich nicht — wird der Ton aufgeschlossen, wobei man etwas weniger als die theoretische Menge Säure nimmt. Das Reaktionsgut erwärmt sich auf etwa 140°C und die Masse reagiert schließlich neutral. Das entstandene Ferrosulfat oxydiert im Prozeß zu Ferrisulfat und fällt bei Überschuß von Ton als basisches Salz aus, bildet also keinen

löslichen Alaun. Nunmehr erhitzt man auf 200° C. Dadurch wird die Kieselsäure amorph und leicht filtrierbar und, was wesentlich ist, die letzten Spuren Schwefelsäure werden zu Sulfat. Die löslichen Bestandteile laugt man mit heißem Wasser aus dem Reaktionsgut heraus, bis die filtrierte Lösung ein spezifisches Gewicht von 1,3 bis 1,4 (35° Bé) hat. Beim Abkühlen fällt Kalialaun aus. Er liefert etwa ein Viertel des vorhandenen Aluminiumhydroxyds. Der kalifreien Lauge wird pulverförmiges Kaliumsulfat, das an späterer Stelle gewonnen wird, unter Umrühren zugeteilt. Nach einigen Stunden hat sich Kalialaun gebildet, der auf einem Vakuumfilter abgesaugt wird. Nach zweimaligem Umkristallisieren unter Bewegung und aus heißer Lösung ist der Alaun praktisch eisenfrei. Aus der erhaltenen Masse werden zunächst durch plötzliches scharfes Erhitzen die einzelnen Kristallkörner gesprengt und das Kristallwasser rasch entfernt. Dadurch wird die bekannte Neigung des Zusammenbackens und Festklebens im Apparat vollkommen aufgehoben. Der wasserfreie Alaun wird nunmehr scharf auf 700 bis 800° C erhitzt, Aluminiumoxyd entsteht, Schwefeloxycide entweichen und werden aufgefangen, während Kaliumsulfat unverändert zurückbleibt. Der zersetzte Alaun wird mit kaltgesättigter Kaliumsulfatlösung auf 100° C erwärmt, wodurch alles Kaliumsulfat gelöst wird und reines Aluminiumoxyd zurückbleibt.

Dr. Schumacher, Berlin, rügt in seinem D. R.-P. 383435 zunächst an dem gewöhnlichen Schwefelsäureaufschluß besonders, daß Ferrosulfat gelöst wird. Diesen Übelstand sucht er zu beseitigen. Sein Verfahren beruht auf dem verschiedenen Verhalten von Ferrosulfat und Aluminiumsulfat in der Hitze. Ersteres wird nämlich schon bei niedrigerer Temperatur zersetzt als letzteres. Man läßt deshalb von vornherein Schwefelsäure beträchtlich über seinem Siedepunkt in Gasform auf das tonerdehaltige Material einwirken. Bei 400 bis 500° C wird Eisensulfat sehr wenig, Aluminiumsulfat dagegen sehr reichlich gebildet. Läßt man aber Schwefelsäure bei Rotglut einwirken, so entsteht bereits Aluminiumhydroxyd, das verloren geht. Da zwar Eisenoxydul, nicht aber Eisenoxyd angegriffen wird, so leitet man zweckmäßig mit den Säuredämpfen zugleich Sauerstoff (Luft) über das Reaktionsgut. Die Tonerde erhält man schließlich durch Zersetzung des Aluminiumsulfats bei hoher Temperatur.

Mit der Gewinnung reiner Tonerde aus Aluminiumsulfat beliebigen Reinheitsgrades befassen sich Askenasy und Dreifuss, Karlsruhe, in ihrem D. R.-P. 383434, 1921. Sie rösten das Sulfat bei einer Temperatur von 1000° C, indem sie kohlenwasserstoffhaltige Gase (Wassergas, Leuchtgas, flüssige und dampfförmige Kohlenwasserstoffe), mit gewissen Mengen Luft gemischt, durch das Reak-

tionsgut blasen, wodurch eine innere Heizung bewirkt wird. Das Röstgut waschen sie mit Säuren und heißem Wasser gründlich aus, wobei etwa vorhandenes Eisen in Lösung geht. Das zurückbleibende Aluminiumoxyd ist nach kurzem Glühen verwendungsfähig. Die im Röstprozeß entweichenden Schwefel, Schwefelwasserstoff- und Schwefeldioxydmengen werden kondensiert und in bekannter Weise weiter verarbeitet.

Ein interessantes Verfahren der Tonerdegewinnung aus Aluminiumsilikaten hat während des Krieges W. Borchers, Aachen, ausgearbeitet und sich patentrechtlich schützen lassen (D. R.-P. 300092, 1916 und 300684, 1917). Es läuft im wesentlichen darauf hinaus, die Gewinnung der Schwefelsäure aus Gips, der in enormen Mengen in der Natur vorkommt und fast wertlos ist, mit der Gewinnung von Tonerde aus Ton auf ingeniose Weise zu verbinden.

Er schreibt selbst hierzu: „Weder durch Glühen mit Wasserdampf noch mit Ton (also Aluminiumsilikaten) ist eine auch nur annähernd vollkommene Austreibung der Schwefelsäure aus den Sulfaten der Erdalkalimetalle zu erreichen, selbstverständlich auch nicht das von mir angestrebte Ziel des Aufschließens der Aluminiumsilikate. Nur durch die gemeinsame Wirkung von Reduktionsmitteln und heißem Wasserdampf wird beides leicht und vollkommen erreicht“. Die Bedingungen, die ein Gelingen des Verfahrens voraussetzen, sind also: Einwirkung von Wasserdampf und Reduktionsmitteln auf ein Gemisch von Aluminiumsilikat und Erdalkalisulfat bei 900 bis 1300°. Als Sulfate sind besonders die hydrat- und kristallwasserhaltigen Modifikationen am Platze, als Reduktionsmittel solche, die Wasserstoff enthalten, wie Sägemehl, ausgenutzte Gerberlohe und Farbhölzer, Braunkohle, wasserstoffreiche Steinkohlen, pulverisiertes Hartpech, Rückstände der Teer- und Petroleumdestillation, Wassergas, Naturgas und andere wasserstoffhaltige Abfallprodukte. Das Ziel des Verfahrens ist einerseits möglichst vollständige Austreibung des Sulfatschwefels als Schwefeldioxyd und Bindung der Kieselsäure an Erdalkali, andererseits die damit zugleich bewirkte Lockerung der Bindung zwischen Aluminiumoxyd und Kieselsäure, womit das Aluminiumoxyd für geeignete Lösungsmittel zugänglich wird. Das Borcherssche Verfahren arbeitet hiernach ohne Abfälle. Alle Erzeugnisse haben wirtschaftlichen Wert, wie er selbst ausführt: 1. das beim Rösten der Aluminiumsilikatsulfat-Reduktionsmittelmischung entstehende Schwefeldioxyd zur Schwefelsäurefabrikation, 2. das aus dem Glührückstande dieser Mischung auslaugbare Aluminiumoxyd zur Herstellung von Aluminiumverbindungen und Aluminiummetall, 3. von den danach verbleibenden Silikaten der Erdalkalimetalle bildet das Magnesiumsilikat ein bei hohen Wärmegraden beständiges, Wärme schlecht

leitendes, für den Bau von Öfen, die Herstellung von Schmelzgefäßen und als Wärmeschutzmasse wertvolles Material, die übrigen bei Verwendung von Gips oder Schwerspat entstehenden Silikate Ca_2SiO_4 und Ba_2SiO_4 bei der Glasfabrikation gut zu gebrauchende Rohstoffe.

In dem Zusatzpatent 300 684 stellt Borchers noch fest, daß an Stelle von Sulfat alle Salze der Erdalkalien mit Säuren, die bei der im Hauptpatent angegebenen Reaktionstemperatur gas- oder dampfförmig sind und durch die im Hauptpatent ebenfalls angegebenen Reduktionsmittel in gas- oder dampfförmige Verbindungen übergeführt werden können, verwendbar sind.

Die nach obigen Patenten aufgeschlossenen Aluminiumsilikatenmassen werden nunmehr ganz wie Bauxit behandelt, so daß das Borcherssche Verfahren als eine Synthese eines sauren und alkalischen Aufschlusses bezeichnet werden darf.

Auch das Fleissnersche Patent 322844, 1919, das an das französische Patent 428019 anknüpft, sucht der Idee einer Schwefelsäuregewinnung aus Gips zugleich mit einer Gewinnung von Tonerde zu dienen. Nach dem französischen Patent wird ein Gemisch von Gips und Ton auf Rotglut erhitzt, wodurch mit dem Entweichen der Schwefelsäure als Dioxyd Calciumaluminat und Calciumsilikat entstehen, die beide unlöslich sind. Die Fleissnersche Erfindung bezweckt aber lösliche Aluminiumverbindungen. Das wird erreicht, wenn nur so weit erhitzt wird, daß zwar Schwefeldioxyd abraucht, Rotglut aber vermieden wird. Durch Auslaugen des so behandelten Gutes mit heißem Wasser und Schwefelsäure soll alles Aluminium als Sulfat in Lösung gehen. Das Aluminiumsulfat enthält sämtliche Schwefelsäure des Gipses. Aus dem Sulfat kann man, wie bekannt, durch Rösten die Schwefelsäure austreiben und reine Tonerde erhalten. Der Rückstand des Laugprozesses kann in der Kunststeinfabrikation Verwendung finden. Nach den oben von Borchers angeführten Versuchserfahrungen will es allerdings zweifelhaft erscheinen, daß der Aufschluß sich so einwandfrei vollzieht, wie in dem Patent behauptet wird.

Schon das Buchnersche und mehr noch das Borcherssche Verfahren darf man als eine Verbindung von Säure- und Alkali-aufschluß bezeichnen. Das letztere erweist sich in seinem ersten Teile geradezu als eine künstliche Bauxitierung, während es in seinem zweiten völlig den Spuren des bekannten Bayerprozesses folgt.

Ähnliche Gedankengänge liegen nun auch einer Reihe anderer Patente der letzten Jahre zugrunde.

So das D. R.-P. 355 302, 1916, der Metallbank und Metallurgischen Gesellschaft, Frankfurt a. M. Es ist ein Verfahren zur Ge-

winnung von Tonerde durch Umwandlung des Tonerdegehalts eines tonerde- und kieselsäurehaltigen Stoffes in lösliches Alkalialuminat und des Kieselsäuregehaltes in unlösliches Calciumsilikat. Als besonders geeignetes Rohmaterial verwendet die Erfinderin die bei der Darstellung von Roheisen oder bei anderen hüttenmännischen Verfahren gewonnenen tonerdereichen Schlacken, die nicht selten 20 und mehr Prozent Tonerde und neben Kieselsäure so viel Kalk enthalten, daß zur Bindung der gesamten Kieselsäure als Calciumsilikat überhaupt kein Kalkzuschlag nötig ist. Die aufeinander wirkenden Bestandteile der Ton-Kalk-Alkalimischung müssen, im richtigen Verhältnis gemengt, längere Zeit einem Sinterungsvorgang unterworfen werden. Da die gemäß der Erfindung zur Verwendung kommenden Hütten Schlacken jedoch in feurig-flüssigem Zustand gewonnen werden, so kann dieses Verfahren ganz fortfallen, indem ihnen der erforderliche Zuschlag an Kalk und Alkali in bekannter Weise bei ihrem Austritt aus dem metallurgischen Ofen einverleibt wird. Reicht die Wärme des Schlackenbades zur Auflösung nicht aus, so kann weitere Wärme zugeführt werden. Enthält die Hütten Schlacke Schwefel, was meist der Fall ist, so ist Luft einzublasen, wodurch eine innere Erwärmung erzielt wird, die man durch Zufuhr weiterer Schwefelmengen, etwa als CaS bis zur Schmelzglut der Reaktionsmassen steigern kann.

Das Röstgut wird nach Abkühlung vermahlen und mit heißem Wasser und Natronlauge behandelt, wodurch lösliches Natriumaluminat erhalten wird, das in bekannter Weise weiter verarbeitet werden kann.

Das Verfahren erscheint uns deshalb recht beachtlich, weil nicht nur höchst lästige, auf die Halden wandernde Abfallstoffe eine zweckentsprechende Aufarbeitung erfahren, sondern zugleich eine sonst ungenutzte, also kostenlos abfallende Wärmeenergie Verwendung findet, die eine Wirtschaftlichkeit des Verfahrens unseres Erachtens sicherstellt.

Zur Gruppe der Doppelaufschlüsse mit Säure und Alkali gehört auch das unter Patent 306355 von Askenasy und Gerber angegebene Verfahren. Die Erfinder erhitzen ein Gemenge von Ton, Kaolin und dergleichen und Calcium- oder Bariumcarbonat bzw. Oxyd bei Gegenwart von Flußmitteln (Kochsalz) auf eine relativ niedrige Glühtemperatur und relativ kurze Glühzeit, wobei die vorhandene Tonerde und das angewandte Barium mit relativ geringen Verlusten gewonnen bzw. wiedergewonnen werden. Das durch Auslaugen des Röstgutes erhaltene Bariumaluminat wird mit alkalihaltigem Natriumsulfat umgesetzt. Aus der filtrierten Natriumaluminiumlösung kann die Tonerde auf bekannte Weise gewonnen werden. Der Bariumsulfatniederschlag wird zweckmäßig auf Schwefel

und Bariumcarbonat verarbeitet. Das letztere kann wieder in den Arbeitsgang zwecks Erzielung eines Kreisprozesses eingeführt werden.

Gleichfalls einen Säureaufschluß mit anschließendem alkalischen Löseverfahren hat sich die Firma Griesheim-Elektron, Frankfurt a. M., unter D. R.-P. 369233, 1920, schützen lassen. Sie schließt den pulverisierten Ton zunächst mit starker Schwefelsäure auf und erhält feste Produkte, die sie mahlt, mit Kohlepulver mischt und auf 500° C erhitzt. Die entweichenden Schwefeloxye werden aufgefangen und auf Schwefelsäure verarbeitet. Der Ton bleibt als mechanisches Gemenge seiner Bestandteile, deren Trennung mechanisch, elektro-osmotisch — Kieselsäure und Tonerde wandern nach verschiedenen Polen — oder auf chemischem Wege erfolgen kann. Bei Behandlung mit Natronlauge wird reines Aluminat gewonnen. Kieselsäure und Eisenoxyd bleiben ungelöst. Das Aluminat wird, wie bekannt, zu Tonerde weiterverarbeitet.

Ein neuer Weg vom tonerdehaltigen Mineral zur reinen Tonerde wurde in einer Reihe von Patenten von Ottokar Serpek gezeigt. Er führt vom Rohstoff über Aluminiumcarbid zum Aluminiumnitrid, von da einerseits zum Ammoniak, andererseits zum chemisch reinen Aluminiumoxyd. Schon in älteren Arbeiten wurde Aluminiumnitrid gelegentlich als lästiges Nebenprodukt gewonnen. Erst Serpeks hervorragende Patente stellten jedoch die merkwürdige Verbindung in den Mittelpunkt des Interesses. Es sind die lockenden wirtschaftlichen Möglichkeiten, die in der Reaktionsgleichung $2 \text{AlN} + 3 \text{H}_2\text{O} = 2 \text{NH}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ zum Ausdruck kommen, die den Erfinder trotz der größten technischen Schwierigkeiten immer wieder anspornen, nach besseren Lösungen des Problems zu suchen.

Die wissenschaftliche Erkenntnis, auf der Serpeks Hauptpatent fußt, besteht in der Reaktion $\text{Al}_2\text{O}_3 + 3 \text{C} + \text{N} = 2 \text{AlN} + 3 \text{CO}$, die, wie er zuerst festgestellt hat, schon bei 1800° C mit technisch ausreichender Geschwindigkeit verläuft. In seinem Patent 181991, 1905, gibt er erstmalig eine Darstellung seiner Erfindung. Er geht hiernach von bereits erhaltenem, zerkleinertem Aluminiumcarbid aus, das er mit Kohle mischt und bei sehr hoher Temperatur einem Stickstoffstrome aussetzt. Unter starkem Aufglühen entsteht dabei eine harte, bläuliche Masse, das Aluminiumnitrid, das beim Kochen mit Wasser restlos in Ammoniak und Tonerde zerlegt wird.

In einer Reihe von patentrechtlich geschützten Vorschlägen hat Serpek die Umsetzung des Carbids in Nitrid mit Hilfe katalytisch wirkender Substanzen zu verbessern gesucht. Es würde zu weit führen, sie an dieser Stelle ausführlich zu beschreiben. Nur das Patent 246419, 1909, sei in Kürze angeführt, da hier der Weg vom Rohstoff bis zum Endprodukt dargelegt wird. Er geht hier vom Bauxit aus, fügt Kohle hinzu und leitet einen Stickstoffstrom über

das auf 1600 bis 2000^oC erhitzte Gemisch. Bei dieser Temperatur sollen alle Beimengungen des im Bauxit enthaltenen Aluminiumoxyds, also Kieselsäure, Erdalkalien und Alkalien, verdampfen, während sich die Nitridbildung am Aluminium glatt vollzieht. Das noch durch Eisen verunreinigte Nitrid wird mit schwachen Säuren oder mit Chlor behandelt, wodurch das Eisen in Lösung geht, ohne das Nitrid anzugreifen. Auch kann man das Eisen mit einem magnetischen Scheider entfernen oder das Nitrid mit Alkalien kochen, wodurch Aluminat in Lösung geht, Ammoniak entweicht und Eisen im Rückstand bleibt. Nach diesem Verfahren sollen noch Aluminiumsilikate mit 50 Proz. flüchtigen Mineralien wirtschaftlich ausgenutzt werden können, da das wertvolle Nebenprodukt Ammoniak ganz wesentlich zur Rentabilität beiträgt.

Das verlockende Problem und die bestechenden Darlegungen des Erfinders haben in Frankreich zur Gründung der Société Générale des Nitrures geführt, die mit einem gewaltigen Aufwand an Kapital auf diesem Wege zu billiger Tonerde und billigem Ammoniak zu gelangen sucht. Ein durchschlagender Erfolg ist ihr bisher freilich versagt geblieben.

Die Schwierigkeiten liegen vor allem in der Beschaffung eines Ofens, der den ungeheuren Ansprüchen chemischer und physikalischer Natur bei einer wochenlangen Erhitzung von 2000^oC genügen kann. Daß hier die entscheidenden Widerstände liegen, von deren Überwindung der Erfolg des Serpekprozesses abhängt, und daß diese noch nicht überwunden sind, lassen schon die vielen Patente der Société des Nitrures vermuten, die sich immer wieder mit neuen Ofenkonstruktionen befassen. Askenasy urteilt über den gegenwärtigen Stand des neuen Verfahrens (Einführung in die technische Elektrochemie): „Der physikalische Teil der Aufgabe verlangt, daß im Innern eines Drehrohrofens annähernd 2000^oC wenigstens einige Wochen hindurch aufrecht erhalten werden, ohne daß der Ofen Reparaturen beansprucht. Man kann das leider nicht durchsetzen. Der chemische Teil einer solchen Anlage schafft nicht minder große Sorgen. Auf gleichmäßige Zusammensetzung, also auch auf eine gleichartige mechanische Beschaffenheit des Ofenproduktes ist nicht zu rechnen. Man muß sich auf Partien mit härtendem Tonerdeüberschuß und auf bröcklige mit Kohleüberschuß gefaßt machen. Silikatbildung ist ebenfalls nicht ganz zu vermeiden. Damit tauchen aber neue, sehr erhebliche Schwierigkeiten für die spätere Verarbeitung des Produktes durch Erhitzen mit Natronlauge unter Druck auf . . . Überschüssiger Koks mit seinen Aschebestandteilen, unzersetzt Nitrid, gesinterte Tonerde, Aluminiumnatriumsilikat hinterbleiben nach der Autoklavenbehandlung auf den Filtern. Das nicht genügend lockere Nitrid verlangt in jedem Falle zur Ammoniak-

abspaltung entweder dünne Lauge bei sehr hoher oder konzentrierte bei niedriger Temperatur. Das wiederum schließt steigende Wärmeverluste oder Laugenverluste, wahrscheinlich beides, ein. Kurz, die Schwierigkeiten wachsen, man kann es ohne Übertreibung sagen, ins Ungemessene.“ Zwar sprechen gewisse Anzeichen dafür, daß es in absehbarer Zeit gelingen wird, der Schwierigkeiten durch Bau geeigneter elektrischer Widerstandsöfen Herr zu werden. Heute ist uns das Gebiet noch verschlossen.

Die Rohstoffanalyse, die Betriebskontrolle während der Tonerdegewinnung und die Untersuchung des gebrauchsfertigen Aluminiumoxyds.

Die elektrolytische Gewinnung von Reinaluminium aus Tonerde setzt voraus, daß diese selbst frei von schädlichen Bestandteilen ist. Zu einem solchen kommt man nur bei richtiger Betriebsführung während der Herstellung, und die zweckmäßigsten Arbeitsweisen kann man erst erwägen nach Kenntnis des jeweils zur Verwendung kommenden Materials. Fortlaufende analytische Untersuchungen dürfen daher nicht fehlen. Sie seien im folgenden kurz skizziert. Für genaueres Studium sei das „Laboratoriumsbuch für die Tonerde- und Aluminiumindustrie“ von Dr. techn. H. Hiller, Verlag Knapp, Halle, bestens empfohlen.

Die Rohstoffanalyse.

Die Rohstoffanalyse beginnt mit der Probenahme. Es ist darauf zu achten, daß ein möglichst richtiges Durchschnittsmuster erhalten wird. In dieser Probe, die, aufs allerfeinste verrieben, in einem gut schließenden Glase aufbewahrt wird, bestimmt man ein für allemal den Feuchtigkeitsgehalt und berechnet die späteren Einzelbestimmungen stets auf die Trockensubstanz.

Wasserbestimmung. Man unterscheidet nun hygroskopisches Wasser, das durch vorsichtiges Erhitzen von 2 g der Probe auf 120°C im Luftbade bis zur Gewichtskonstanz bestimmt wird, und Konstitutionswasser, das im Mineral chemisch gebunden ist und nur in der Glühhitze entweicht. Da sich der Glühverlust eines getrockneten Tones, der Kalkstein und organische Substanzen enthält, aus dem Konstitutionswasser, der Kohlensäure und der organischen Substanz zusammensetzt, so kann das gebundene Wasser eines Tones, der diese Beimengungen gleichzeitig enthält, nicht bestimmt werden. Denn, wenn man auch die in einer besonderen Probe ermittelte Kohlensäure in Abzug bringen wollte, so bliebe dennoch die Menge der organischen Substanz unbestimmt, abgesehen davon, daß sich auch etwa vorhandenes Ferroxyd beim Glühen zu Ferrioxyd

oxydieren würde. In diesem Falle bleibt nur eine direkte Gewichtsbestimmung des Wassers übrig.

Kieselsäurebestimmung. Man löst etwa 2g der feinst pulverisierten Trockensubstanz in etwa vierfach normaler Schwefelsäure, der etwas Salpetersäure zugesetzt ist, auf und dampft vorsichtig bis zum Abrauchen der Säure ein. Nach Erkalten löst man in verdünnter Schwefelsäure, der etwas Salzsäure zugefügt ist, die entstandenen Sulfate auf. Nach längerem Stehen auf dem Wasserbade gießt man durch das Filter. Der Rückstand ist Kieselsäure, verunreinigt durch geringe Mengen Aluminium- und Titanoxyd. Nach Auswaschen verbrennt man das Filter samt Inhalt im Platintiegel über dem Gebläse und wägt. Den Rückstand feuchtet man mit nur wenig verdünnter Schwefelsäure an und gibt einige Tropfen Flußsäure zu. Man raucht vorsichtig ab, glüht und wägt wie vorher. Die Gewichts-differenz ist Kieselsäure. Der Rest kann ohne merklichen Fehler gleich Al_2O_3 gesetzt werden. Für ganz genaue Arbeiten schließt man ihn mit Kaliumbisulfat [besser NaHSO_4 , weil das entstehende $\text{NaAl}(\text{SO}_4)_2$ löslicher ist als $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$] auf, löst die Schmelze in stark verdünnter Schwefelsäure und schlägt die Titansäure nach nochmaliger Verdünnung durch mehrmaliges Kochen als Metatitansäure nieder.

Schwer lösliche Mineralien (z. B. ungarische Bauxite) kann man, da keine Alkalien zu bestimmen sind, vorteilhaft auch mit Soda aufschließen und die Schmelze mit Salzsäure lösen. Der weitere Gang der Untersuchung ist dann gleich dem oben beschriebenen sauren Aufschluß.

Gemeinschaftliche Bestimmung der Oxyde des Eisens, Aluminiums und Titans. Das Filtrat der Rohkieselsäure wird samt Waschwasser in einem Meßkolben auf 500 ccm aufgefüllt. 100 ccm des Filtrats werden in ein geräumiges Becherglas pipettiert, mit wenig, am besten rauchender Salpetersäure, zuzüglich etwas Salzsäure, oxydiert und die gelösten Oxyde durch Kochen mit Ammoniak gefällt. Den Niederschlag wäscht man sorgfältig aus, löst ihn mit heißer, etwa doppelt normaler Salzsäure auf, fällt nochmals, wäscht aus, glüht in einem Porzellanschälchen über dem Gebläse und wägt. Auswage = Summe $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$.

Eisenoxyd (Fe_2O_3) bestimmung, maßanalytisch nach Reinhardt. 100 ccm des obigen Filtrats werden aus dem 500-ccm-Kolben in ein größeres Becherglas pipettiert, salzsauer gemacht, zum Sieden erhitzt und mit einigen Tropfen Zinnchlorür reduziert, bis die Lösung völlig entfärbt ist. Die kalte Lösung versetzt man mit 25 ccm 5proz. Quecksilberchloridlösung und fügt noch 500 ccm Wasser mit 15 ccm Mangansulfatlösung hinzu, die man durch Kaliumpermanganat

entfärbt hat. Durch Titrieren mit Kaliumpermanganat ermittelt man nunmehr den Gehalt an reinem Eisenoxyd (Fe_2O_3).

Arbeitet man in etwa 10proz. schwefelsaurer Lösung und reduziert mit Zink, so wird auch das Titanoxyd reduziert. Für die Betriebsanalysen ist die Gesamtbestimmung $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ hinreichend genau, da $1 \text{ ccm } 0.1 \text{ n} = \text{KMnO}_4 = 0,00800 \text{ g } \text{Fe}_2\text{O}_3 = 0,00801 \text{ g } \text{TiO}_2$.

Titanoxyd (TiO_2)bestimmung, kolorimetrisch. 100 ccm der ursprünglichen Probe werden in einem 400-ccm-Meßkolben gegossen, mit einer ausreichenden Menge Wasserstoffsuperoxyd oxydiert und mit 5 ccm reiner Phosphorsäure versetzt, um die störende Farbwirkung des Eisens zu beseitigen. Dann füllt man mit destilliertem Wasser auf, schüttelt gut durch und bringt 100 ccm der Lösung in einen verschließbaren Meßzylinder. In einen genau gleichen Zylinder bringt man 10 ccm der Vergleichstitanlösung, der ebenfalls die entsprechende Menge Phosphorsäure zugesetzt worden ist. Durch Hinzufügen von destilliertem Wasser zu der bekannten Vergleichslösung stellt man auf Farbgleichheit ein. Entspricht etwa 1 ccm Titanvergleichslösung 0,001 g TiO_2 , so kann man den Gehalt der unbekannteren Lösung an TiO_2 durch einfache Rechnung unschwer ermitteln.

Man kann mit einer für die Zwecke der Betriebsanalyse ausreichenden Genauigkeit die Bestimmung des Eisentitangehaltes auch in einer Operation ausführen, indem man das Aluminium mittels Natronlauge als Aluminat entfernt. Nach doppelter Fällung wird der Eisentitanniederschlag mit heißer Salzsäure gelöst und zwecks Reinigung von Alkali mit Ammoniak als Hydroxyd gefällt und der Niederschlag nach dem Trocknen und Glühen als Oxyd bestimmt. Aus der Differenz $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2) - (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2)$ erhält man indirekt Al_2O_3 .

Direkte Aluminiumoxydbestimmung nach Trautmann. 1 g der feingepulverten Trockensubstanz schließt man mit Soda und Natriumsuperoxyd (1:1) im Eisen- oder Nickeltiegel auf. Nach Erkalten löst man mit 300 ccm Wasser auf und filtriert in einen Literkolben. Den Rückstand schließt man nach Veraschen im Eisentiegel und Zerreiben in einer Achatschale in gleicher Weise auf, löst und bringt nunmehr beides (Lösungen und Rückstand) in den Kolben, den man mit destilliertem Wasser bis zur Marke anfüllt. 200 ccm der Lösung, die noch filtriert worden ist, säuert man mit Salpetersäure an, kocht und neutralisiert bei Gegenwart von Phenolphthalein vorsichtig mit Ammoniak. Hierauf gibt man noch einen Überschuß von 10 Tropfen konzentriertem Ammoniak, läßt kurz aufsieden und filtriert den erhaltenen Niederschlag. Nach gründlichem Auswaschen löst man diesen in verdünnter Salpetersäure, kocht und fällt erneut mit Ammoniak, wodurch die letzten Spuren Alkali entfernt werden. Den mit heißem Wasser ausgewaschenen Niederschlag verascht man im Platintiegel mit Fluß- und Schwefelsäure, um die gleichfalls

ausgefallene Kieselsäure abzurauchen. Zuletzt glüht man heftig vor dem Gebläse und wägt.

Glühverlustbestimmung: 0,5 g der Trockensubstanz glüht man anfangs schwach, zuletzt scharf im Gebläse.

Die Summierung aller Bestimmungen soll 100 Proz. der Substanz ergeben.

Die Betriebskontrolle.

Die Betriebskontrolle beim Aufschluß des Bauxits richtet sich naturgemäß nach dem eingeschlagenen Verfahren. Wir folgen hier dem am Anfang des vorigen Kapitels beschriebenen Sodaschmelzprozeß, der sich in seinem weiteren Verlauf gleichfalls des Bayerischen Rührprozesses bedient.

Aus der Bauxitanalyse ergibt sich die Menge von Staubsoda und Kalk, die zuzusetzen ist.

Es muß das Verhältnis bestehen: $\text{Al}_2\text{O}_3 (+ \text{Fe}_2\text{O}_3) : \text{Na}_2\text{O} = 1:1$ (bis 1,2) und $\text{SiO}_2 : \text{CaO} = 1:1$.

Die Sodaanalyse muß den Wassergehalt, das Unlösliche und den Gesamt-titer feststellen. Zur Bestimmung des Wassergehalts trocknet man 5 g der Probe zwei Stunden bei 270°C , läßt im Exsikkator erkalten und wägt.

Zur Bestimmung des Unlöslichen löst man 100 g Soda in warmem Wasser, filtriert durch ein tariertes Filter, trocknet dieses bei 110°C und wiegt abermals.

Gesamt-titer: Das Äquivalentgewicht der Soda ist 53 g. 50 ccm Normalsalzsäure müssen demnach 2,65 g Soda entsprechen. Gewöhnlich werden jedoch nur 98,5 Proz. davon erzielt.

In dem fortlaufenden Tonerdeprozeß wird auch die regenerierte Soda, die am Ende des Verfahrens auftritt, erneut in den Arbeitsgang eingeführt. Die mitgeschleppten Verunreinigungen, $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, Na_2SO_4 und besonders SiO_2 , gestatten jedoch nie mehr als die Hälfte an regenerierter Soda zu verwenden. Der Rest muß daher anderweitig verarbeitet werden.

Für die Zwecke der Wiederverwendung beim Bauxitaufschluß genügt die Bestimmung der Kieselsäure und der Alkalität. Die erstere bestimmt man gravimetrisch, indem man eine abgewogene Probe vorsichtig mit Salzsäure auflöst, eindampft, den Rückstand mindestens zwei Stunden bei 100° röstet, mit verdünnter Salzsäure aufnimmt, heiß filtriert und die Kieselsäure durch Abrauchen mit Fluß- und Schwefelsäure aus der Differenz bestimmt. Die letztere erhält man durch Titrieren einer abgewogenen und gelösten Sodamenge mit Normalsalzsäure.

Der Calciumoxyd-gehalt des zu verwendenden Kalksteins bestimmt man durch Auflösen einer gewogenen Menge desselben mit Normalsalzsäure und Zurücktitrieren mit Natronlauge. Eventuell ist

auf schädliche Bestandteile zu prüfen [Aluminiumoxyd (Mergel) oder, was noch bedenklicher ist, Magnesiumoxyd (Dolomit)].

Die Untersuchung der garen Schmelze erfolgt durch Aufschluß mit Salzsäure und unterscheidet sich, mit Ausnahme der hinzugekommenen Kalkbestimmung, nicht von der beschriebenen Bauxitanalyse.

Der Auslaugeprozeß der Schmelze erfolgt mit den Waschlauge aus früheren Prozessen, die etwa 10^0 Bé stark sind, wodurch eine unzeitgemäße Zersetzung der Lauge (etwa auf dem Filter) vermieden wird. Ergibt die Analyse der garen Schmelze z. B. 58 Proz. Al_2O_3 und 24 Proz. Fe_2O_3 , so waren für 100 kg Bauxit folgende Sodamengen erforderlich: $102 : (1,2 \cdot 62) = 58 : x$; $x = 42,4$ kg Na_2O , $160 : (1,2 \cdot 62) = 24 : y$; $y = 11,2$ kg Na_2O , wobei 102 das Molekulargewicht des Aluminiumoxyds, 160 das des Eisenoxyds und 62 das des Natriumoxyds bedeutet. $42,4$ kg $\text{Na}_2\text{O} + 11,2$ kg $\text{Na}_2\text{O} = 53,6$ kg Na_2O , das sind $\text{Na}_2\text{O} : \text{Na}_2\text{CO}_3$; $62 : 106 = 53,6 : z$; $z = 91,6$ kg Soda (Na_2CO_3).

Das in der Schmelze gebildete Natriumferrit zerfällt beim Auslaugen. Das Eisenoxyd bleibt im Rückstand, die Natronlauge geht in Lösung. In dieser besteht daher am Ende des Auslaugvorganges zwischen Tonerde und Ätznatron folgendes molekulare Verhältnis: $\frac{58}{102} : \frac{53,6}{62} = 1 : 1,51$. Hierzu kommt noch der Gehalt der Waschlauge, so daß am Ende des Prozesses die Beziehung gilt: $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{Na}_2\text{O} = 1 : 1,7$ (bis 1,8).

Die Endprodukte des Auslaugeprozesses, die nach Durchgang durch die Filterpressen vorliegen, sind Aluminatlauge und Rotschlamm.

Die Rotschlammanalyse.

Um alle Wägungen auf die Trockensubstanz beziehen zu können, trocknet man den Rotschlamm zunächst bei 120^0 C. Dann nimmt man 1 g der feingemahlene, lufttrockene Masse und löst sie in konzentrierter Salzsäure, der man etwas Salpetersäure zugibt, unter Erwärmen auf. Nach dem Lösen dampft man vorsichtig ein und läßt die Probe bei 110^0 C eine Nacht im Trockenschrank rösten. Dann nimmt man mit wenig konzentrierter Salzsäure auf, verdünnt mit reichlich Wasser, erhitzt zum Sieden und filtriert die Kieselsäure ab. Zuletzt bestimmt man den Eisen-, Titan- u. Aluminiumgehalt wie bei der Bauxitanalyse.

Den Ätzkalkgehalt ermittelt man aus dem Filtrat der Eisen-Aluminium-Titanfällung. Den CaO-Gehalt fällt man aus schwach salzsaure, ammonchloridhaltiger Flüssigkeit als Oxalat. Den Niederschlag raucht man am besten mit Schwefelsäure ab, glüht ihn mit dem Bunsenbrenner kurze Zeit über einem Asbestteller und wägt ihn als CaSO_4 .

Zur Bestimmung des Gehaltes an Ätznatron kocht man am einfachsten 50 g der getrockneten Substanz mit Wasser etwa eine Viertelstunde unter Rühren auf, gießt das Ganze in einen 500-ccm-Meßkolben und füllt mit Wasser bis zur Marke. Einen bestimmten Teil der Lösung (etwa 200 ccm) filtriert man, färbt ihn mit Phenolphthalein und titriert mit Normalsalzsäure.

Bei dem Ausrührprozeß der Aluminatlauge interessiert vor allem das Verhältnis von Aluminium- zu Natriumoxyd, das zu Anfang 1:1,8 und am Ende 1:1,6 beträgt. Die Kontrolle nimmt man maßanalytisch vor, und zwar werden 10 ccm der Lauge in einem Meßkolben von 50 ccm übergeführt, bis zur Marke aufgefüllt und tüchtig geschüttelt. Eine Probe davon wird mit einem Tropfen Tropäolin als Indikator versetzt, eine zweite mit Phenolphthalein gefärbt. Beide Proben werden erwärmt und mit Normalsalzsäure titriert. Mit Tropäolin mißt man den Gehalt an Tonerde und Alkali, mit der Phenolphthaleinlösung den Alkaligehalt.

Die gute Beschaffenheit des ausfallenden Hydrats (grobkörnig, sandig, nicht etwa schleimig) und die Geschwindigkeit des Ausrührens hängen von der richtigen Temperatur und Konzentration ab. Sie müssen täglich gemessen werden.

Die zu erwartende Ausbeute an Hydrat $[\text{Al}(\text{OH})_3]$ läßt sich vorausberechnen unter Bestimmung des Anfangsgehaltes (a Proz. Al_2O_3) und Einstellung eines angenommenen Endverhältnisses (b Proz. Al_2O_3) in die Rechnung.

Nach L. Schupp (Diss. Darmstadt 1915) kann man ansetzen:
 $1,53 a = x + \frac{1,53 b (100 - x)}{100}$. In dem Ansatz ist $x =$ ausgeschiedene

Hydratmenge, $b(100 - x) =$ in Lösung gebliebene Hydratmenge, 1,53 der Umrechnungsfaktor vom Hydrat zum Oxyd, entsprechend der Proportion: $2 \text{Al}(\text{OH})_3 : \text{Al}_2\text{O}_3 = 153 : 102 = 1:1,53$. Durch

einfache algebraische Umformung folgt daraus: $x = \frac{1,53(a - b)}{100 - 1,53b}$.

Multipliziert man noch x mit dem spezifischen Gewicht der Lauge, so erhält man die auf ein bestimmtes Volumen bezogene Menge.

Die prozentuale Ausbeute endlich findet man: $\frac{100 x}{1,53 a}$ Proz., denn von 1,53 g gelöstem Hydrat werden x g abgeschieden.

Die ausgerührte Lauge wird in Filterpressen gepumpt, das Hydrat von der Lauge getrennt, mit Wasser ausgewaschen und durch Luft getrocknet.

Die Hydratanalyse.

Die Hydratanalyse hat in der Regel die Bestimmung von Wasser, Eisenoxyd, Kieselsäure und Ätznatron vorzunehmen.

Die Wasserbestimmung erfolgt durch Vortrocknen einer Probe von etwa 3g im Trockenschrank, Erhitzen über einem Intensivbrenner und scharfes Glühen vor dem Gebläse. Normalerweise 44 bis 48 Proz. Wassergehalt.

Die Kieselsäurebestimmung führt man, wie üblich, so aus, daß man eine Probe in Schwefelsäure löst, eindampft und röstet, um die Kieselsäure unlöslich zu machen. Die Sulfate entfernt man mit heißem Wasser, den Rückstand glüht und wägt man. Schließlich raucht man mit Fluß- und Schwefelsäure ab und bestimmt die Kieselsäure aus der Differenz.

Eisenoxydbestimmung. Den Rückstand nach Abrauchen der Flußsäure schließt man mit Natriumhydrosulfat auf, löst und gießt die Lösung zum Filtrat der Kieselsäurebestimmung. Die Ferrisalze reduziert man mit Zink zu Ferrosalzen und bestimmt hierauf den Eisengehalt titrimetrisch mit 0,1 *n*-Kaliumpermanganatlösung.

Die Ätznatronbestimmung führt man genau so aus wie beim Rotschlamm (maßanalytisch mit Normalsalzsäure).

In dem von uns angezogenen Fabrikationsgang entzieht man der durch den Ausrührprozeß und die Filterpressen gelaufenen Aluminatlauge die restliche Tonerde durch Kohlensäure. Die Beendigung dieses Vorganges ermittelt man rein qualitativ mit ammoniakalischer Salmiaklösung. Ist noch Tonerde in Lösung, so fällt sie als $\text{Al}(\text{OH})_3$ aus und trübt die Probe.

Das durch Kohlensäure gefällte Hydrat wird genau so analysiert, wie das aus dem Rührprozeß gewonnene, nur wird die Alkalität in prozentualem Natriumcarbonat statt in Ätzkali angegeben.

Die Rücklauge wird als regenerierte Soda, wie erwähnt, erneut in den Kreislauf eingeführt. Ihre Analyse wurde schon weiter vorn beschrieben.

Untersuchung der gebrauchsfertigen Tonerde.

Die Tonerde wird vor ihrer Anwendung zur Elektrolyse hauptsächlich auf einen Gehalt an Wasser, Eisenoxyd und Kieselsäure geprüft. Sie soll enthalten:

Al_2O_3 mindestens 98,0 Proz.	Fe_2O_3 höchstens 0,1 Proz.
SiO_2 höchstens 0,3 „	H_2O „ 1,0 „

Die Prüfung auf die genannten Verunreinigungen ergibt sich aus dem früher Gesagten. Erwähnt sei noch, daß die Tonerde genügend hoch erhitzt sein muß, daß sie „totgebrannt sein muß“, d. h. nicht mehr merklich Wasser chemisch zu binden vermag. Um sich von diesem Zustand zu überzeugen, läßt man einige Gramm in offenem flachen Wägegölchen in dünner Schicht stehen und wägt drei Tage hindurch täglich einmal das Glas. Die Gewichtszunahme darf einige Zehntel Gramm nicht übersteigen.

Der Kryolith.

Der Kryolith wird bei der Elektrolyse als Lösungsmittel für Tonerde verwendet. Er findet sich, wie schon erwähnt, natürlich, kann aber auch künstlich hergestellt werden. Lange Zeit gab man dem letzteren wegen seiner größeren Reinheit den Vorzug. Doch stand der Aluminiumindustrie bereits in den 90er Jahren Naturkryolith mit weniger als 1 Proz. Kieselsäure zur Verfügung. Sein Vorkommen beschränkt sich nach bisherigen Kenntnissen auf ein Lager bei Ivitut in Südgrönland, wo es gegen Ende des 18. Jahrhunderts entdeckt wurde. Er stellt ein Doppelsalz von Aluminiumfluorid und Natriumfluorid von der Formel $\text{Al}_2\text{F}_6 \cdot (\text{NaF})_6$ dar. Seit Beginn der 50er Jahre des vorigen Jahrhunderts wird er in größeren Mengen durch die Öresund Chemisker Fabriker Kommanditselskab, Kopenhagen, nach Europa gebracht und technisch verwertet.

Er findet sich in einer weißen und einer schwarzen Abart. Seine Verunreinigungen bestehen hauptsächlich aus Quarz, Eisenkies, Eisencarbonat und Bleiglanz. Oft kommen auch Zinnstein, Blende, Molybdänglanz und Kupferkies in dem Mineral vor. Mitunter ist der ursprünglich vorhandene Bleiglanz in Sulfat, der Eisenkies teilweise in Eisenocker umgewandelt.

In der Rotglut verliert der natürliche Kryolith etwa 1 Proz. Wasser und zermürbt. Er läßt sich dann leicht zu Pulver verreiben. Längere Zeit auf Weißglut erhitzt, gibt er alles Natriumfluorid und das an Aluminium gebundene Fluor ab. Das Aluminium oxydiert dabei durch den Luftsauerstoff zu Tonerde, die in Form hexagonaler perlglänzender Blättchen zurückbleibt. Sein Schmelzpunkt liegt bei 930°C .

Der künstliche Kryolith bildet sich in einfacher Weise, wenn man Flußsäure in den entsprechenden Verhältnissen mit Tonerdehydrat und Soda absättigt. Bei dieser Behandlung fällt das unlösliche Doppelsalz aus, und man hat nach dem Erhitzen auf Rotglut ein Produkt, das alle Eigenschaften des natürlichen Kryoliths besitzt. Schon Berzelius hat sich künstlichen Kryolith dargestellt und seine Zusammensetzung mit der des natürlichen übereinstimmend gefunden.

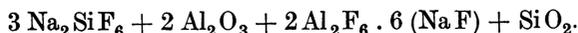
Soll künstlicher Kryolith hergestellt werden, so stellt man sich entweder durch Absättigung von Flußsäure mit Soda oder Natronlauge vorerst das saure Natriumfluorid, NaHF_2 , her und gibt dieses zu der entsprechenden Menge Tonerdehydrat oder, was zweckmäßiger ist, man setzt zu saurem Aluminiumfluorid Natriumchlorid in solcher Menge hinzu, daß auf 1 Mol Tonerde 3 Mol Kochsalz kommen, oder man kann auch ein in passenden Proportionen gemachtes Gemenge von Tonerdehydrat und Kochsalz direkt mit der zur Fällung von Kryolith notwendigen Menge Flußsäure behandeln. Das Doppelsalz

Fluoraluminium-Fluornatrium fällt sofort rein aus und braucht nur getrocknet und kalziniert zu werden. Am besten erfolgt die Herstellung des künstlichen Kryoliths in verbleiten Gefäßen.

Die Herstellungskosten für 100 kg des Doppelsalzes betragen:

39 kg Tonerdehydrat (100 kg 24 \mathcal{M})	9,35 \mathcal{M}
85 „ Kochsalz (100 kg 4 \mathcal{M})	3,40 „
60 „ 100proz. Flußsäure (100 kg 49 \mathcal{M})	29,00 „
300 „ Kohlen zum Kalzinieren (100 kg 1,80 \mathcal{M})	5,10 „
Arbeitskosten	3,00 „
Amortisation der Apparate	33,50 „
<hr/>	
Selbstkosten pro 100 kg Kryolith	53,35 \mathcal{M}

Die Herstellung des künstlichen Kryoliths aus reinen, namentlich kieselsäurefreien Chemikalien ist sehr teuer. Man hat deshalb neuerdings versucht, auch aus geringwertigen Rohstoffen direkt einen brauchbaren Kryolith zu erzeugen, der mit dem natürlichen konkurrieren kann. Zu nennen ist hier das Verfahren von Humann und Teisler, Dohna bei Dresden, Patent 289064, 1912, das aus Kieselfluornatrium und Tonerde die Doppelverbindung Aluminiumfluorid—Natriumfluorid erzeugt. Durch Einwirkung feinverteilter Tonerde auf Kieselfluornatrium bei Gegenwart von heißem Wasser tritt Zersetzung in der Weise ein, daß ein Gemisch bzw. ein Doppelsalz aus schwer- oder unlöslichen Fluorverbindungen des Aluminiums und Natriums entsteht, dem Kieselsäure beigemischt ist. Durch Hinzufügen von Soda in der Menge, die der Zusammensetzung des Doppelsalzes $\text{Al}_2\text{F}_6 \cdot 6(\text{NaF})$ entspricht, kann man in diesem Prozeß zugleich künstlichen Kryolith erhalten. Die sehr schädliche Kieselsäure kann man entfernen, indem man sie durch starkes Verdünnen der Lösung kolloidal macht und von den sich zu Boden setzenden Fluorverbindungen abzieht. Am zweckmäßigsten arbeitet man unter Verwendung der Formel:

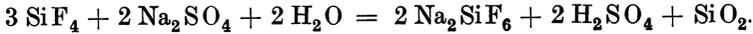


Diese Fluorverbindung enthält die doppelte Menge Aluminiumfluorid gegenüber dem natürlichen Kryolith, was bei der Aluminiumelektrolyse nicht weiter schädlich ist.

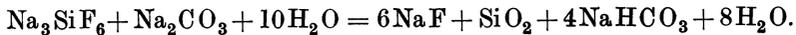
Nach Patent 307525, 1917, der chemischen Fabrik H. Bergius & Co., Goldschmieden bei Breslau, wird letzten Endes aus Aluminatlauge und Flußsäure in einem neuen Verfahren Kryolith erzeugt. Das alte Verfahren besitzt erhebliche Nachteile: Die Erzeugung und Verarbeitung von Flußsäure ist für das Personal sehr gesundheitsschädlich. Auch ist der Flußspat in der Regel zu kieselsäurehaltig, die Reinigung des Flußspats aber zu kostspielig. Das neue Verfahren arbeitet entsprechend der Reaktion:



Die Verwendung des Bisulfats ist billiger als die von Schwefelsäure. Das flüchtige Siliciumfluorid fängt man mit festem, feinkristallinem Natriumsulfat auf, das sich unter Wärmeentwicklung vollständig zersetzt. Die fragliche chemische Gleichung lautet:

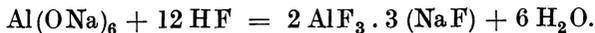


Das entstandene Natriumsiliciumfluorid wird mit dem doppelten Äquivalentgewicht bei 70° C geschmolzen. Es setzt sich um:



Hierbei ergeben sich zwei überraschende Vorteile. Der Ausfall der Kieselsäure vollzieht sich glatt. Der nachträglich ausfallende Kryolith ist nach Zugabe von Aluminatlauge rein. Und dadurch, daß die freie Kohlensäure sofort als Bicarbonat gebunden wird, tritt eine beträchtliche Vereinfachung der Apparatur ein, das spätere Einleiten von Kohlensäure wird erspart und alle Soda restlos zurück-erhalten.

Wegen einer Verbesserung der Apparatur, weniger wegen einer Neuerung des chemischen Verfahrens verdient endlich noch Patent 320960, 1917, von J. L. Eckelt, Berlin, Erwähnung. Es stellt Kryolith aus Aluminatlauge und Flußsäure her, indem ein in üblicher Weise aus kieselsäurefreiem Flußspat gewonnener gasförmiger Fluorwasserstoff durch eine Flüssigkeitsstrahlpumpe, die, mit heißer Aluminatlauge im Kreislauf betrieben, aus dem Erzeugergefäß abgesaugt wird. Der Kryolith bildet sich dabei nach der Formel:



Man läßt absitzen und benutzt die darüberstehende Lauge, bis sie sauer reagiert. Dann ist sie durch frische zu ersetzen.

Der künstliche Kryolith war längere Zeit wegen seiner größeren Reinheit für die Zwecke der Aluminiumgewinnung besser geeignet als der natürliche und wurde vielfach, trotz seines etwas höheren Preises, bevorzugt. Gegenwärtig ist man gänzlich davon abgekommen. Durch verbesserte Aufbereitungsmethoden (Naßscheidung, magnetische Scheidung usw.) bringt die Öresund Chemiska Fabriker Kommanditselskab einen Naturkryolith in den Handel, der nur noch minimale Verunreinigungen enthält. So zeigte ein von Lodin untersuchter, für Aluminiumelektrolyse bestimmter Grönlandkryolith die folgende Zusammensetzung:

Glühverlust (bei 300°)	0,10 Proz.
SiO ₂	0,20 „
F	55,58 „
Al	12,81 „
Na	28,62 „

Zusammenfassend können wir also sagen: Die besseren, kiesel-säurefreien Qualitäten sowohl des natürlichen als auch des künstlichen Kryoliths sind in der Aluminiumelektrolyse gleich gut brauchbar. Die Verwendung des einen oder anderen ist lediglich eine Frage des Preises. Gegenwärtig ist der natürliche Kryolith billiger als der künstliche gleicher Qualität. Infolgedessen wird er zurzeit bevorzugt.

Fluoraluminium.

Bei der Elektrolyse des Aluminiums wird schließlich auch noch Aluminiumfluorid verwendet. Die Fluorverluste während des Prozesses müssen stets wieder ergänzt werden. Würde das Fluor durch Zugabe von frischem Kryolith ersetzt, so müßte mit der Zeit eine derartige Anreicherung an Natriumsalz eintreten, daß das abgeschiedene Aluminium stark natriumhaltig ausfiele. Dieser Ersatz geschieht daher am zweckmäßigsten durch Zugabe von Fluoraluminium, wodurch gleichzeitig das kathodisch abgeschiedene Aluminium, soweit dies nicht durch Zusatz von Tonerde geschieht, ergänzt wird.

Zur Herstellung von Fluoraluminium wird Flußsäure mit Tonerdehydrat abgesättigt, so daß sich ein basisches Salz, AlOF , bildet, das getrocknet und schwach geglüht wird.

Analyse von Kryolith und Aluminiumfluorid.

Bei Untersuchung der Badschmelze brauchen stets nur Natrium, Aluminium und Fluor festgestellt zu werden, da elektronegativere Metalle, die vor dem Einschmelzen von Kryolith, Aluminiumfluorid und Tonerde in diesen enthalten waren, durch die Stromwirkung sofort ausgeschieden werden.

Da aber die zur Aluminiumdarstellung dienenden Materialien frei von Silicium und Eisen sein sollen, so muß auf deren Nachweis besonderes Gewicht gelegt werden.

Die Bestimmung der Kieselsäure. 1 g der Probe schließt man nach Berzelius mit NaKCO_3 auf. Die abgekühlte Schmelze laugt man mit heißem Wasser gründlich aus. Zum alkalischen Filtrat setzt man reichlich Ammoniumcarbonat, erhitzt zum Sieden und dampft die Flüssigkeit bei bedecktem Becherglas vorsichtig ein. Kieselsäure und Tonerde scheiden sich ab. Das Filtrat neutralisiert man, gibt 2 ccm ammoniakalische Zinkoxydlösung zu und fällt dadurch die letzten Reste der Kieselsäure, die man abfiltriert und auswäscht. Den Niederschlag löst man in Salpetersäure. Die zurückbleibende Kieselsäure filtriert man ab. Die erhaltenen Niederschläge spritzt man von den Filtern in eine Porzellanschale, säuert an, dampft ein, röstet und verfährt wie bei der Bauxitanalyse. Die Filter verascht man und die Gesamtkieselsäure bestimmt man durch Abrauchen mit Flußsäure.

Die Bestimmung von Eisen, Aluminium und Natrium. 1 g der Probe schließt man mit Schwefelsäure auf und dampft ein bis zum Abrauchen der Säure. Dann löst man die Sulfate und filtriert von der Kieselsäure ab. Das Filtrat behandelt man maßanalytisch wie bei der Bauxitanalyse. Aus einem aliquoten Teil der Lösung bestimmt man Eisenoxyd + Aluminiumoxyd gemeinsam, aus einem anderen durch Trennung mit Natronlauge das Eisenoxyd für sich.

Die Natriumbestimmung nimmt man an besonderer Probe vor und verfährt dabei wie bei der Rotschlamm-analyse.

Die Fluorbestimmung nach Oettel. Sie beruht auf der Zersetzung der Fluorverbindungen mit konzentrierter Schwefelsäure in Gegenwart von Quarz. Es entweicht Fluorsilicium als Gas und wird über Quecksilber als Sperrflüssigkeit aufgefangen und gemessen.

Der zur Bestimmung dienende Apparat (Fig. 16) ist durchweg aus Glas, was von großem Vorteil ist. Irgendwelche Gummi- oder Korkverbindungen, die Fehler verursachen könnten, hat er nicht.

Er besteht aus:

1. dem Entwicklungskölbchen *A*,
2. der graduierten Bürette *B*,
3. dem Niveaurohr *C*.

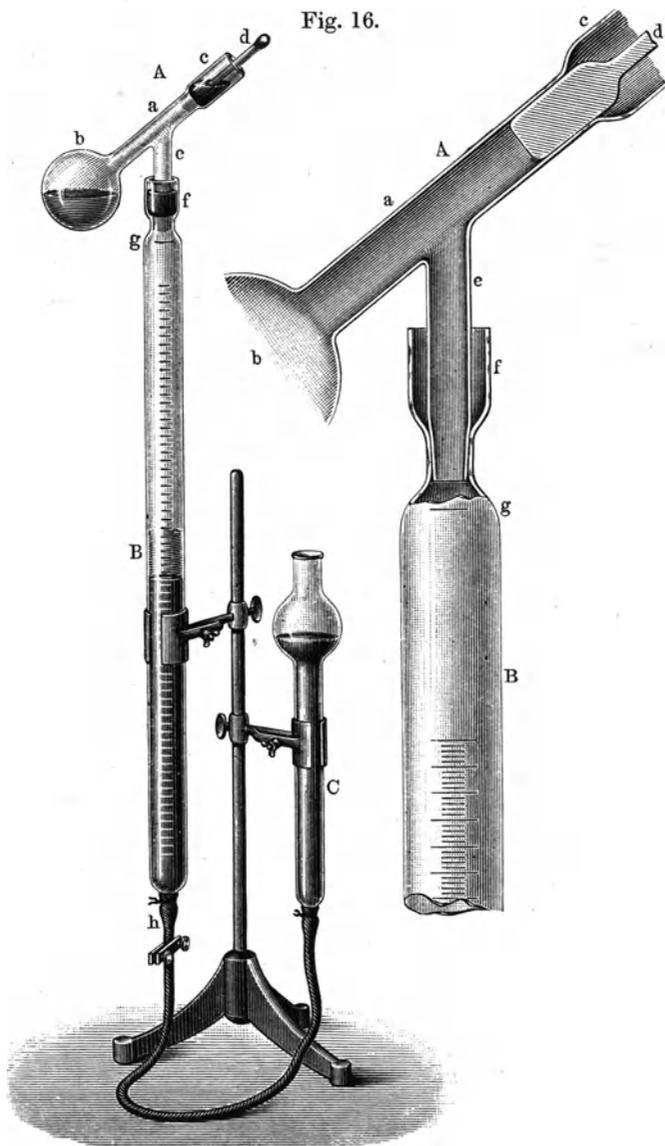
Das Entwicklungskölbchen faßt etwa 100 ccm, besitzt einen in halber Länge des Rohres schiefwinklig angesetzten Rohrstutzen, der in das obere Ende der Bürette eingeschliften ist. Mit einem eingeschliftenen Stöpsel läßt sich der Kolben, wie Fig. 16 zeigt, luftdicht abschließen. Die Bürette faßt etwa 150 ccm.

Um eine Fluorbestimmung auszuführen, verfährt man wie folgt: Durch Heben des Niveaurohres *C* füllt man die Bürette bis zum Nullpunkt mit Quecksilber, klemmt den Verbindungsschlauch ab, so daß sich das Niveau nicht mehr verändern kann, und gießt dann 100proz. Schwefelsäure bis zu einer bestimmten Marke auf. Hierauf setzt man das vollkommen trockene Kölbchen *A*, in dem sich die fein zerriebene Substanz befindet, gut gemischt mit der 20fachen Menge ausgeglühten feinsten Quarzsandes auf die Bürette und überläßt den Apparat etwa eine Viertelstunde sich selbst, damit er wieder Zimmertemperatur annimmt. Während dieser Zeit notiert man Temperatur und Barometerstand.

Dann läßt man aus einer Pipette 50 ccm 100proz. Schwefelsäure in das Entwicklungskölbchen fließen und setzt sofort den Stöpsel auf, über den man zum sicheren Abschluß etwas weitere Schwefelsäure gibt. Man entfernt nun die Klemmschraube des Verbindungsschlauches zum Niveaurohr, senkt dasselbe und erwärmt das Kölbchen nach und nach bis fast zum Siedepunkt der Schwefelsäure. Durch Regulieren des Niveaurohres hält man im Apparat immer geringen

Minderdruck, auch schwenkt man den Inhalt des Kölbchens öfters durch schwaches Bewegen des ganzen Apparates. Man erhitzt etwa eine halbe Stunde, wonach man den Apparat auf Zimmertemperatur abkühlen läßt, was etwa zwei Stunden erfordert.

Fig. 16.



Nach völligem Erkalten werden die nötigen Ablesungen gemacht und nach Reduktion des Gases auf 760 mm und 0° C der Gehalt an Fluor ausgerechnet. Da die Schwefelsäure stets eine geringe Menge

Siliciumfluorid absorbiert, ist noch eine Korrektur anzubringen, und zwar sind zu einem abgelesenen Volumen von 70 ccm nach Angaben Oettels je 1,4 ccm zu addieren.

Die 100proz. Schwefelsäure stellt man sich durch entsprechendes Zusammengießen von konzentrierter und rauchender Schwefelsäure her. Eine Bestimmung erfordert etwa drei Stunden. Wegen der Raschheit der Ausführung ist sie zur Betriebskontrolle besonders geeignet. Ihre Ergebnisse sind so genau, wie die nach irgend einer anderen, aber umständlicheren Methode.

Die Kohlenelektroden.

Zur Stromzufuhr nach dem Elektrolyten werden sowohl als Anoden wie auch als Kathoden Kohlenelektroden verwendet.

Da sämtliche Leiter erster Klasse bei der Elektrolyse der hier in Betracht kommenden Verbindungen stark angegriffen werden, alle aber auch, mit Ausnahme der Kohle, durch diesen Angriff das Bad stark verunreinigen würden, so ist die Verwendung eines anderen Materials ausgeschlossen. Selbst Platin ist nicht widerstandsfähig genug.

Kohle besitzt die angenehme Eigenschaft, mit den in der Elektrolyse entstehenden Gasen Sauerstoff und Fluor nur flüchtige Reaktionsprodukte zu bilden, die als Kohlenmon- und -dioxyd, sowie als Fluorkohlenstoff, ohne den Elektrolyten schädlich zu beeinflussen, in die Luft entweichen. Unangenehm wirkt Kohle nur dann, wenn die mechanische Festigkeit zu gering ist, weil sich die Kohlenbröckchen dem Elektrolyten beimengen und ihn eindicken. Da das spezifische Gewicht der Kohle aber geringer ist als das des Elektrolyten, so schwimmt der feine Grus doch größtenteils obenauf und kann, allerdings nicht ohne gleichzeitigen Verlust an Elektrolyt, von Zeit zu Zeit abgeschöpft werden.

Der Verschleiß an Elektrodenkohlen ist ziemlich bedeutend. Man kann annehmen, daß für ein Kilo erzeugtes Aluminium etwa 650 g Kohle verbraucht werden. Auch erhöht sich der Betrag oft ganz bedeutend, wenn bei der Elektrolyse Fehler gemacht werden.

Die Elektrodenfabrikation ist meist mit der Aluminiumgewinnung verbunden, sind doch die Anforderungen an den Reinheitsgrad der Elektroden sehr groß, größer als für andere elektrochemische Prozesse, beispielsweise für die Carbidfabrikation. Außerdem bilden sich bei der Fabrikation des Aluminiums stest Abfälle aus den Kohlenreststücken, die in den Elektrodenhaltern verbleiben. Sie machen mehr als 10 Proz. des gesamten Verbrauchs aus, und es lohnt sich, sie zusammen mit dem Kohlenpulver, das von der Badoberfläche während des Betriebes abgeschöpft werden mußte, wieder aufzuarbeiten.

Die Herstellung der Elektroden erfolgt im allgemeinen so, daß Kohle verschiedenen Ursprungs, Retortengraphit, Petroleumkoks, unter gewissen Voraussetzungen auch gewöhnlicher Stein- und Braunkohlenkoks nach Zerkleinerung mit Teer und Pech zu einer plastischen Masse gemengt wird, die dann in Formen gestampft und bis zur völligen Zersetzung und Abdestillation der Kohlenwasserstoffe gebrannt wird.

Das für Aluminiumelektroden dienende Rohmaterial darf nur Spuren an mineralischen Verunreinigungen haben. Namentlich müssen die Anodenkohlen so rein wie irgend möglich sein, da ja diese in der Elektrolyse zersetzt werden. Geringe Verunreinigungen in der Kathode sind weniger schädlich. Nach kurzer Zeit ist die Bodenfläche so ausgelaugt, daß sie völlig „rein“ geworden ist. Verbindungen von Metallen, die elektronegativer als Aluminium sind, z. B. Eisen, Mangan, Silicium, auch Phosphor und Schwefel verhindern auch bei bestem Elektrolyten die Gewinnung reinen Metalls, denn sie gelangen in die Schmelze und von dieser entweder primär durch die Stromwirkung oder sekundär (es bilden sich im Elektrolyten Aluminiumnebel, die reduzierend auf die Schwermetalloxyde wirken) in das abgeschiedene, noch flüssige Aluminium. Während aber Eisen vollständig vom Aluminium aufgenommen wird, ist dies mit dem Silicium nur teilweise der Fall. Das während der Elektrolyse neben Sauerstoff sich an der Anode abscheidende Fluor wirkt auf die Kieselsäure der Elektroden ein und bildet damit flüchtiges Siliciumtetrafluorid. Elektropositivere Metalle, wie Calcium und Magnesium, verunreinigen das abgeschiedene Metall zwar nicht, wohl aber den Elektrolyten. Sie reichern sich in diesem an und verändern die Zusammensetzung schließlich so, daß der Elektrolyt unbrauchbar wird und entfernt werden muß:

Rohkohlenmaterial mit einem Aschengehalt von mehr als 1 Proz. ist zur Herstellung von Aluminiumelektroden unbrauchbar. Anthrazit und gewöhnlicher Koks ist deshalb in der Regel nicht geeignet. Ihr Aschengehalt ist nicht nur sehr beträchtlich, sondern auch in seiner Zusammensetzung außerordentlich schwankend, wie folgende Analysen zeigen:

Gehalt an	New Castle (Tayler)	Missouri (Schweizer)	Aachen (Kremers)	Walden- burg	Zwickau (Kremers)		
					I	I	III
Fe ₂ O ₃ . .	15,9	75,9	60,8	54,5	6,3	25,8	74,0
Al ₂ O ₃ . .	12,2	7,5	2,2	8,3	31,3	22,4	5,2
SiO ₂ . . .	59,6	14,3	1,7	31,3	60,2	45,1	15,5
CaO . . .	10,0	0,4	19,2	3,4	1,0	2,8	2,2

Material von dieser Beschaffenheit ist natürlich als Elektrodenkohle nicht zu brauchen, und bis vor kurzem war man lediglich auf den in unzureichenden Mengen greifbaren Retortengraphit und den verhältnismäßig teureren amerikanischen Petrolkoks angewiesen, deren Aschengehalt allerdings 1 Proz. in keinem Falle übersteigt, vielmehr durchschnittlich bei $\frac{1}{2}$ Proz. liegt. Neuerdings sind jedoch die Chemische Fabrik Griesheim-Elektron und die Chemische Fabrik Köln-Kalk mit Patenten hervorgetreten, die die Herstellung von aschefreiem Koks aus Braunkohle und deren hochsiedenden Destillaten in wirtschaftlich durchführbarer Weise ermöglichen.

So verwendet die zuerst genannte Fabrik zufolge D. R.-P. 301 722 für Elektrodenkohle aschearme Braunkohle, wie sie in den mittleren Schichten des Kölner Reviers enthalten sind. Sie erhitzt die Kohle auf 1200 bis 1400° C, pulverisiert sie und entzieht ihr magnetisch den Gehalt an Eisen. Kieselsäure kommt fast nicht vor. Unter Zusatz von den bekannten Bindemitteln Teer und Pech formt sie dann in der üblichen Weise die Elektroden und brennt sie. Sie sollen sich vorzüglich bewähren.

Ein anderes Verfahren gibt Fabrik Köln-Kalk, Erfinder Dr. H. Oehme, als D. R.-P. 389 657 bekannt. Es ist im wesentlichen dadurch gekennzeichnet, daß man aus Teer, Urteer, Torfteer, Teeröl für metallurgische Zwecke brauchbare, aschefreie Koke durch Entfernung der aschebildenden Bestandteile vor der Verkokung herstellt. Die Verunreinigungen beseitigt man teils auf mechanischem Wege durch Filtrieren und Zentrifugieren, teils auf chemischem Wege durch Säurezusatz, wobei die entstehenden Säureharze die Verunreinigungen niederschlagen. Nach dem Vorreinigen der Teere ergibt sich die Aufgabe, sie so zu verarbeiten, daß die Koke, die bisher nur Nebenprodukt waren, eines der Hauptprodukte des ganzen Schwelprozesses werden. Dies wird dadurch erreicht, daß die vorgereinigten Teere in einer Destillierblase erhitzt und die aufsteigenden Dämpfe an flächenmäßiger Rotglut vorbeigeführt werden. Die leichtsiedenden Kohlenwasserstoffe werden weggeführt, die hochsiedenden gehen in die Destillierblase zurück, wo allmählich Verkokung erfolgt. Der Druck innerhalb dieser Retorte ist anfänglich 3 bis 5 Atm., mit fortschreitender Koksbildung wird der Druck vermindert. Das Ergebnis ist ein schlackenfreier, graphitartiger Koks, der für Aluminiumelektroden verwendet werden kann.

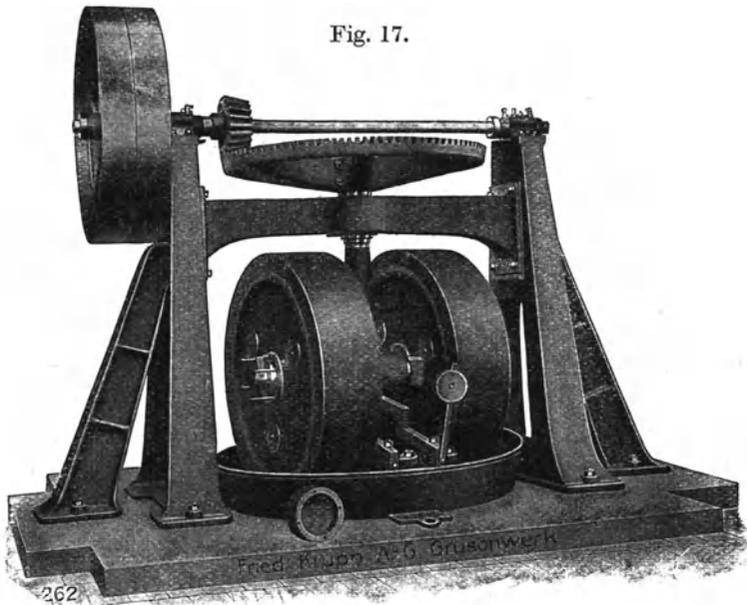
Endlich wird noch von der Metallbank und Metallurgischen Ges. Frankfurt (D. R.-P. 334 473) empfohlen, den Elektrodenkohlen für Aluminiumelektrolyse bei ihrer Herstellung Aluminiumcarbid (Al_4C_3) beizumengen. Der aus der gelösten Tonerde stammende, anodisch abgeschiedene Sauerstoff soll auf das Aluminium des Carbids wirken und äquivalente Mengen Aluminiumoxyd bilden, das sich

in der Schmelze löst. Die Badspannung soll bei Verwendung aluminiumcarbidhaltiger Elektrodenkohlen infolge Depolarisation einige Volt tiefer liegen als bei reinen Kohlenelektroden. Unseres Erachtens wird allerdings durch den starken chemischen Angriff die Elektrode rasch bröcklig und porös. Sie verschleißt infolgedessen schneller als die reine Kohlenelektrode. Der anfänglich gewonnene Vorteil könnte dadurch sehr leicht zu einem Nachteil werden.

Der Fabrikationsprozeß gliedert sich in:

1. die Herstellung des Kohlenpulvers,
2. die Bearbeitung und Formgebung und
3. das Brennen.

Das Kohlenpulver wird mit Kugelmühlen, Walzmühlen oder Kollergängen aus den größeren Brocken von Koks und Retortengraphit



Kollergang.

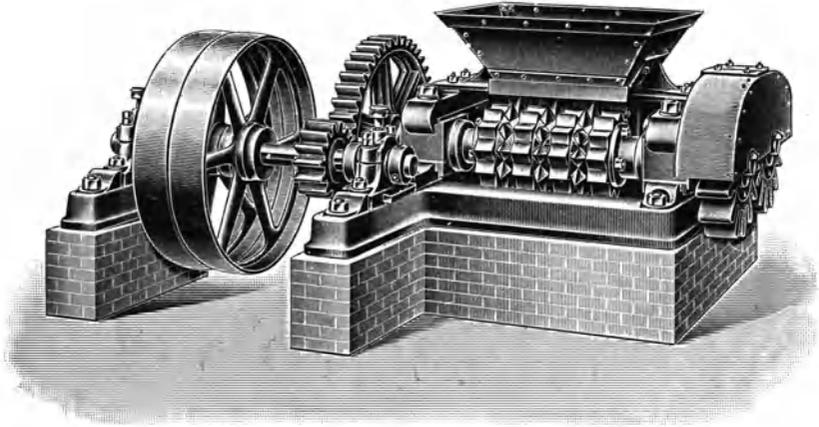
gewonnen (Fig. 17). Unter Umständen sind die harten Retortengraphitstücke einer Vorzerkleinerung durch Steinbrechmaschinen unterworfen gewesen (Fig. 18).

Die feinerkleinerte Kohle muß nun gründlich mit den Materialien gemischt werden, die nach dem Brennen den Zusammenhalt der einzelnen Teile bewirken. Um ein rasches Abbrennen der Elektroden im Bade zu verhindern, wird auch noch etwas Tonerde der Mischung beigegeben. Diese bildet, wenn das Abbrennen begonnen hat, eine schützende Hülle gegen weitere Angriffe.

Zweckmäßig werden folgende Mischungsverhältnisse gewählt:

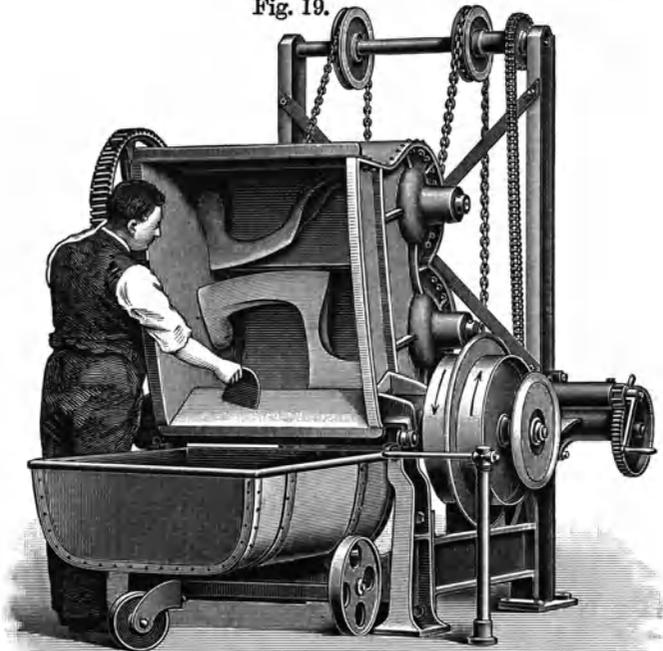
Retortengraphit oder		Pech	4 Teile
Petrolkoks	80 Teile	Ruß	3 „
Teer	8 „	Tonerde	5 „

Fig. 18.



Steinbrecher.

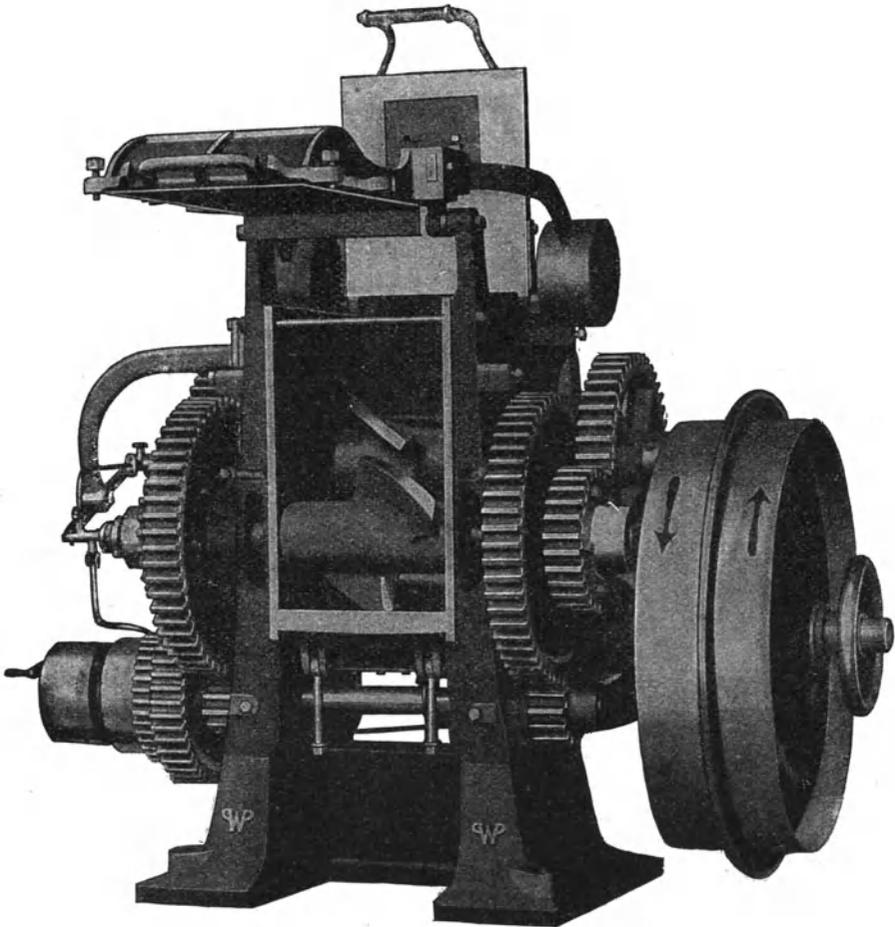
Fig. 19.



Knet- und Mischmaschine.

Die erhaltene Mischung muß, bevor sie in Formen gepreßt wird, möglichst gleichmäßig sein. Sie wird daher zuerst geknetet, dann in Kollergängen zu Kuchen gepreßt und nach dem weiteren Herstellen von Ballen, was in einem Stampfwerk geschieht, in den eigentlichen Formpressen zu Elektroden von der gewünschten Größe geformt.

Fig. 20.

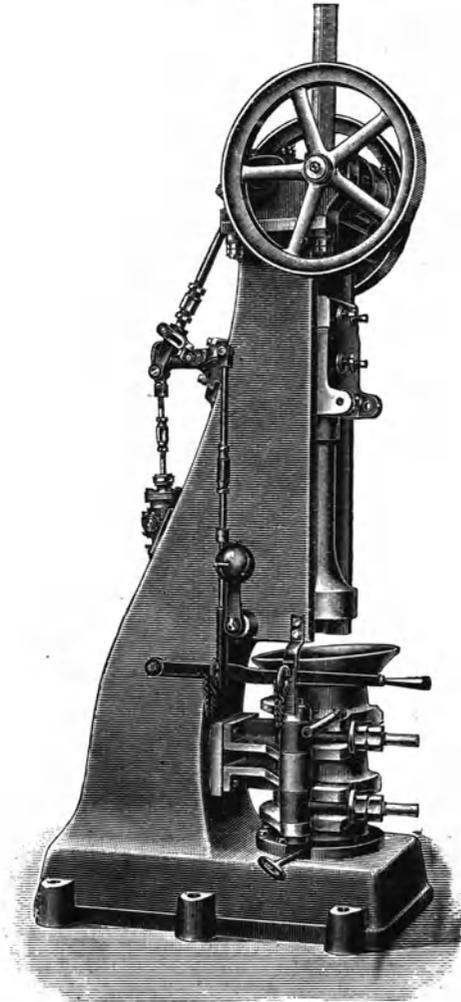


Heizbare Knet- und Mischmaschine.

Das Mischen erfolgt am besten in großen Teigknetmaschinen, deren Trog von einem Dampfmantel umgeben ist, so daß die Erwärmung der zu mischenden Masse möglich ist (Fig. 19 und 20).

Man beginnt die Operation derart, daß man vorerst etwa 220 kg des Kohlenpulvers hineinbringt. Dann erwärmt man vermittelst des Dampfmantels und gibt den Teer und das Pech, sowie den Ruß und die Tonerde hinzu, die dann auf das innigste vermischt werden. Die

Fig. 21.

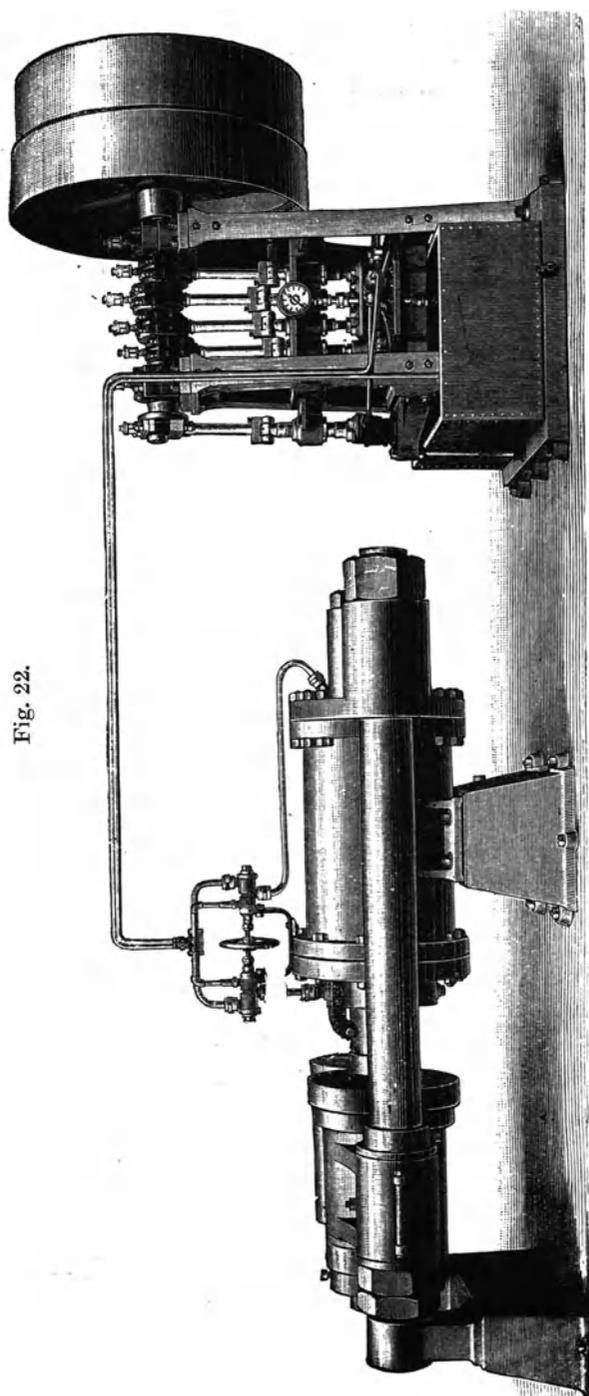


Friktionsstampfwerk.

fertige Paste fällt nunmehr auf Wagen, die unter den Mischmaschinen stehen, und wird zu den Kollergängen gebracht, die mit Stahlläuffern von 3500 und mehr Kilogramm Gewicht versehen sind. Beim Verlassen der Kollergänge hat die Masse die Form eines dünnen flachen Kuchens, der zwar hart, aber bildsam ist, und unter die Stampfe (Fig. 21) kommt, um zu Ballen geformt zu werden, die zuletzt in der eigentlichen hydraulischen Elektrodenpresse fertig verarbeitet werden (Fig. 22). In dieser wird die plastische Ballenmasse mit allmählicher Steigerung einem Druck bis 500 Atm. ausgesetzt und durch den Preßstempel durch ein den gewünschten Elektroden-dimensionen entsprechendes Mundstück getrieben. Neuerdings bevorzugt man jedoch statt der gepreßten mehr und mehr gestampfte Elektroden, weil die so unerwünschte Porosität der Kohlen bei dieser Art der Herstellung erfahrungs-

gemäß geringer ist als bei den durch noch so große Drucke erhaltenen Preßkohlen. Allerdings muß die Koks-Teermischung für eine Elektrode auf einmal in die heiße Stampfform gebracht werden, weil jedes Nachfüllen schlechten Kontakt der Teile und Risse beim Brennen bedingt.

Fig. 22.



Hydraulische Elektrodenpresse.

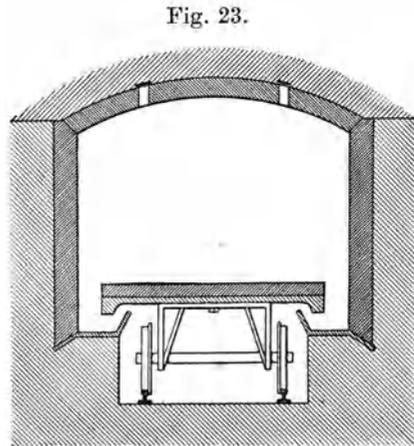
Bei der Aluminiumdarstellung werden zweckmäßig Elektroden verwendet, die nicht über 100 qcm Querschnitt und nicht über 50 cm Länge haben. Die Gründe sind folgende: Der Ofenbetrieb ist kontinuierlich. Selbst bei Herausnahme des abgeschiedenen Aluminiums wird die Stromzufuhr nicht unterbrochen. Während des Betriebes brennen nun die Elektroden ab. Ist eine ganze Anzahl kleiner vorhanden, so kann eine nach der anderen ausgewechselt werden, ohne daß eine Störung eintritt, weil der Stromanteil, der normalerweise durch die auszuwechselnde Elektrode fließt, während der Zeit der Auswechslung durch die übrigen geht. Würde aber z. B. nur eine große Elektrode verwendet, so müßte bei ihrem Ersatz die Stromzufuhr unterbrochen werden. Große Elektroden könnten auch nur mit Hilfe mechanischer Vorrichtungen ausgewechselt werden, während dies bei kleinen ohne Schwierigkeit mit Handarbeit erfolgt. Auch noch andere Gründe sprechen für die Verwendung kleiner Elektroden. Es tritt während der Elektrolyse an der unteren Seite eine Zuspitzung ein. Je größer der Querschnitt der Elektrode ist, um so länger wird auch dieser Spitzenkegel. Um ungestört arbeiten zu können, müßte dieser von Zeit zu Zeit abgeschlagen werden, was Kohlenverluste bringt. Außerdem kann eine Kohle um so stärker belastet werden, je geringer der Querschnitt ist, da sich die Oberfläche im Vergleich zum Querschnitt vergrößert. Schließlich bleibt noch anzuführen, daß große Elektroden auch größere und teure Maschinen zu ihrer Anfertigung und eine bedeutend längere Brenndauer erfordern, was ihre Herstellung verteuert. Das man nicht mit Elektroden von 100 und mehr Zentimetern Länge, sondern mit wesentlich kürzeren Elektroden arbeitet, erklärt sich aus den hohen Spannungsverlusten in den ersteren, der anfänglich bis zu 4 Volt betragen kann. Rechnet man einen Durchschnittsverlust von 2 Volt, so bedeutet dies einen Energieverlust von 20 bis 25 Proz. Wollte man aber bei Anwendung langer Elektroden die erwähnten Spannungsverluste vermeiden, so müßte man den Strom mittels Gleitkontaktes direkt über dem Schmelzbad in die Elektrode einführen. Allein die Schwierigkeit, verlustlos arbeitende Gleitkontakte anzubringen, und die Notwendigkeit ihrer sorgfältigen Einstellung wirken so verteuern, daß man wohl gänzlich davon abgekommen ist und allenthalben kürzeren Elektroden den Vorzug gibt. Erwähnt sei noch ein Vorschlag der Planiawerke, Ratibor, Patente 248082, 1909, und 245529, 1911, die Spannungsverluste durch Erhöhung der Leitfähigkeit zu beseitigen. Dies soll möglich sein durch eine Aluminiemeinlage in die Kohle. Dabei soll das Metall in Kegelform im Innern der Kohle eingeschraubt werden, und zwar so, daß bei Abkühlen und Zusammenziehen des Metalls der Kontakt mit der Kohle nur noch inniger wird

Das Brennen.

Das Brennen kann in verschiedenen Ofenkonstruktionen erfolgen. Für kleine Betriebe sind Muffelöfen in Anwendung, sodann aber hauptsächlich Kanal- und Ringöfen.

Der Kanalofen bildet in seiner ganzen Länge einen wagerecht liegenden Kanal, durch den ein Schienengleis führt. Auf diesem bewegen sich eiserne Plattformwagen. Ziemlich in der Mitte liegt der eigentliche Verbrennungsraum der Generatorgase, dem die am Schornsteinende eingebrachten Wagen mittels hydraulischen Druckes langsam entgegengeführt werden. Die nach dem Schornsteinende entweichenden Feuergase wärmen die Elektroden langsam vor und werden dann im Vollfeuer in verhältnismäßig kurzer Zeit gebrannt.

Auf dem weiteren Wege nach dem anderen Ende des Ofens werden sie durch die von außen am Schornstein einströmende Luft abgekühlt. Sie tritt am unteren Ende des Kanals unter den Wagen ein und streicht am anderen Ende in die obere Kanalhälfte. Weiterhin durchzieht sie die abkühlende Masse und tritt stark erhitzt als Speiseluft in den Feuerraum. Da der Ofen ganz mit Wagen angefüllt ist, so wird beim Einbringen eines neuen Wagens ein solcher mit gebrannten Kohlen aus-gebracht. Die Wagen sind mit feuerfesten Platten versehen, deren seitlich herab-

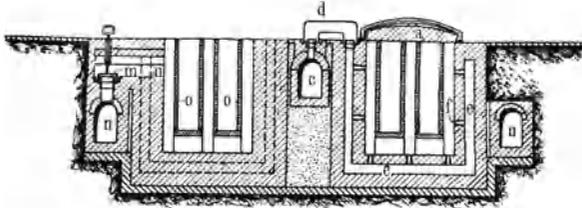


Querschnitt durch den Kanalofen mit Plattformwagen.

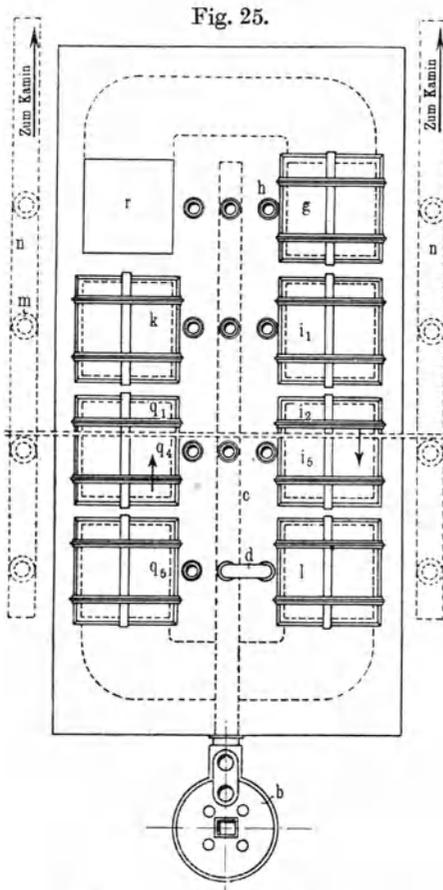
hängende Ränder in einem Sandverschluß enden. Fig. 23 gibt den Querschnitt eines derartigen Ofens wieder. Nach D. R.-P. 281781 von Mendheim, München, werden die entweichenden Teerdämpfe aufgefangen und mit zum Heizen verwandt. Man sagt den Mendheimischen Kanalöfen nach, daß sie infolgedessen sehr ökonomisch im Betrieb seien, sie leiden aber leicht unter Betriebsstörungen durch Verstopfen der schwer zugänglichen Kanäle infolge Kondensation der Teerdämpfe. Sie gestatten auch aus betriebstechnischen Gründen nicht die Erzeugung so hoher Brenntemperaturen, daß eine Graphitierung der Elektrodenkohlen eintritt. Es hat sich aber herausgestellt, daß so scharf gebrannte Elektroden

besonders haltbar sind. Die genannten Nachteile besitzen die Ringöfen für Gasfeuerung nicht. Ihnen gibt man daher neuerdings mehr und mehr den Vorzug.

Fig. 24.



Schnitt durch einen Gasringofen.



Grundriß eines Gasringofens.

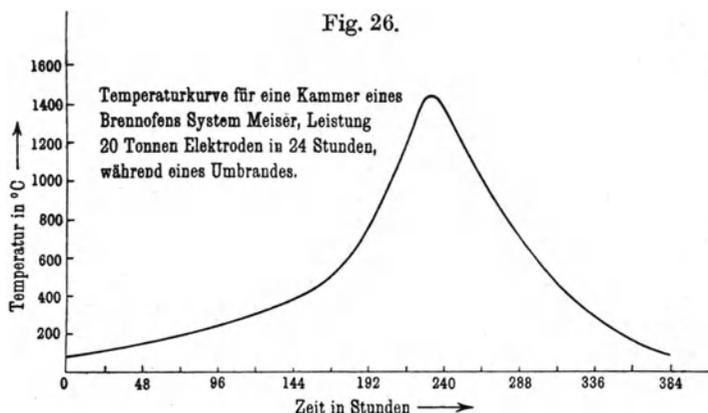
Besonders verbreitet sind im In- und Ausland die Ofenkonstruktionen der Firma Franz Meiser, Nürnberg. Die jetzige Bauart ist eine Modifikation des im Jahre 1873 von Meiser-Escherich erfundenen und gebauten Gasringofens. Es existieren zwei Bauformen dieses Systems, D. R. - P. 6195, 1879, die je nach den besonderen Bedürfnissen Verwendung finden. Bei der einen werden die zu brennenden Kohlen in Tiegel aus feuerfestem Material gesetzt, sodann mit Kohlenstaub vollgestopft, mit einer passenden Platte überdeckt und so dicht als möglich in Kammern eingesetzt.

Bei der anderen werden die zu brennenden Elektroden in Muffeln eingeführt, die gleichfalls mit Kohlenstaub gefüllt werden, der die Wärme gut leitet und den entstehenden Gasen

zu entweichen gestattet. Der Verbrauch an Füllpulver ist minimal, da es immer wieder zur Verwendung der Elektroden Verwendung findet.

Die Öfen sind als Tieföfen ausgebildet und haben je nach Bedarf 14 bis 36 und mehr Kammern. Diese Kammern sind durch abhebbare Deckel *a* abgedeckt.

Die Betriebsweise ist für beide Ofensysteme die gleiche (Fig. 24 und 25). Die Heizgase (Generatorgas 1400 bis 1600°C, Wassergas noch etwas höher) treten aus dem Generator *b* in den Gaskanal *c*, der in der Mitte des Ofens angeordnet ist. Durch Aufsetzen von eisernen Überführungen *d* kann der im Feuer befindlichen Kammer Gas zugeführt werden. In diesem Falle strömen die Gase in die Kanäle *e* und treten durch Schlitze *f* in das Innere der Kammer, wo sie mit der vorgewärmten Verbrennungsluft zusammentreffen und verbrennen. Diese Verbrennungsluft tritt, entfernt vom Eintritt der Gase, bei der Kammer *g* ein, die bereits abgekühlt ist, indem man den Deckel *h* oder *a* lüftet. Die Verbrennungsluft durchströmt



dann, angesaugt durch den Kaminzug, die bereits abgebrannten Kammern i_1 bis i_5 . Sie erwärmt sich dort und wird in der Brennkammer *l* mit dem dort zugeleiteten Gas verbrannt. Die Rauchgase strömen nun weiter durch die bereits gefüllten Kammern q_5 bis q_1 durch den Kanal *p* und das in diesem gezogene Ventil *m* in den Rauchkanal *n*, der die Gase in den Kamin führt.

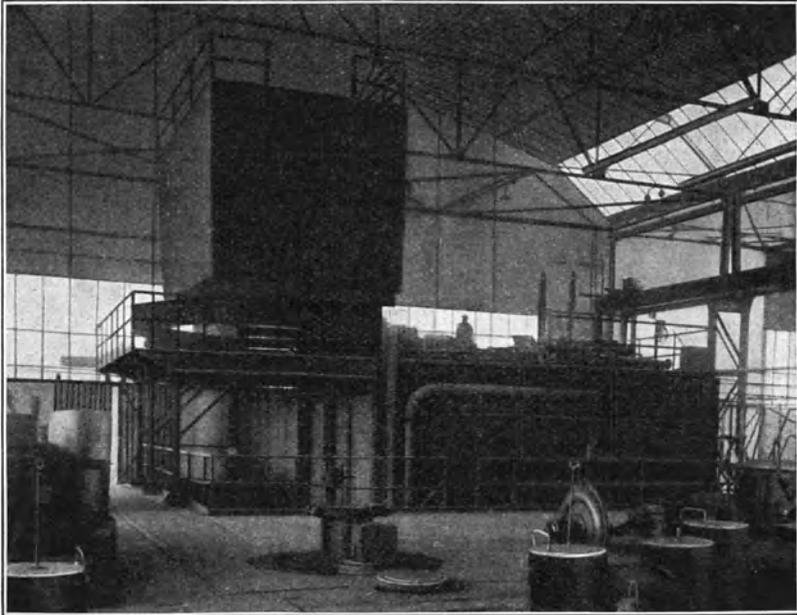
Kanal *r* ist eine offene Kammer, von der der Deckel abgenommen worden ist. Das Feuer wandert im Ringe herum. Ist Kammer *l* abgebrannt, so kommt nun Kammer q_5 daran. Die zu brennenden Elektroden werden in Muffeln, die in die Kammern eingebaut sind, oder bei dem anderen System in Tiegeln eingesetzt, was durch Abheben des Deckels *a*, der auf den einzelnen Kammern liegt, möglich ist. Die aus den Elektroden beim Brennprozeß entweichenden Gase und Dämpfe können gesammelt und weiter verwertet werden.

Auch im Ringgasofen werden die Elektroden nur ganz allmählich der höchsten Glut ausgesetzt. Bei zu rascher Erwärmung würden

die Kohlenwasserstoffe der Oberfläche abdestillieren. Eine harte Kruste würde sich bilden, die später durch die im Innern der Elektroden entstehenden Gase abgesprengt würde. Den Temperaturverlauf in einer Kammer läßt die Kurve Fig. 26 a. v. S. erkennen.

Das zur Elektrodenherstellung notwendige Rohmaterial muß vor dem Formen geglüht werden. Kleinere Betriebe führen dies im Elektrodenofen durch. Im Großbetrieb aber benutzt man besondere Glühöfen, die rationeller und besser arbeiten (Fig. 27) und

Fig. 27.



Glühöfen für Petrolkoks, Anthrazit, Graphit usw. System Meiser. in der Aluminiumindustrie auch besonders zur Vorbereitung der einzelnen Bestandteile der Bodenmasse geeignet sind (zum Ausglühen von Petrolkoks, Anthrazit, Graphit usw.).

Fig. 28: Ein „Meiserscher Stiftofen“ im Bau. Die Kohlen werden in Tiegeln verpackt in die Kammern eingesetzt. Das Bild wurde in Frankreich aufgenommen.

Fig. 29: Elektrodenofen Patent Meiser. Leistung 20 t Elektroden in 24 Stunden.

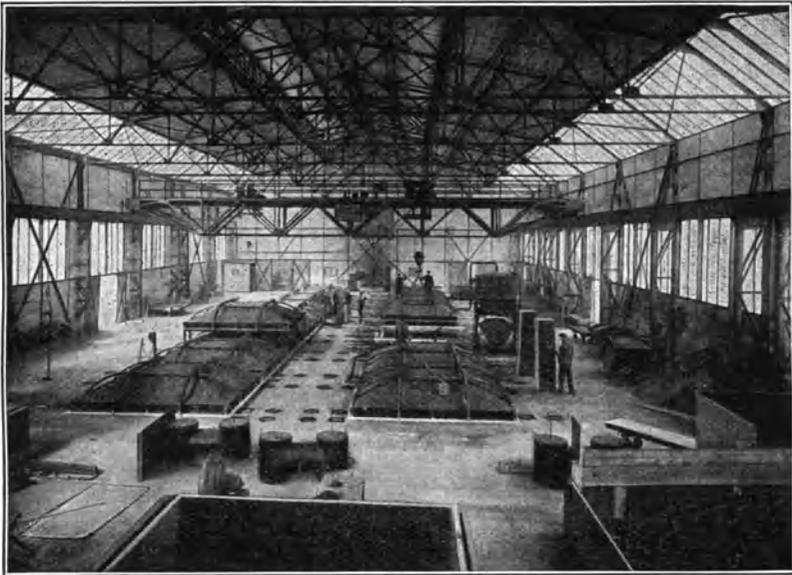
Man rühmt den Meiserschen kontinuierlich arbeitenden Brenn- und Glühöfen folgende Vorzüge nach: 1. Gleichmäßige und gründliche Erhitzung des Brenngutes. 2. Genaue Regulierfähigkeit des Feuers und damit der Temperatur. 3. Gute Vorglut, die bei gewöhnlichen Kammeröfen zu wünschen übrig läßt, schneller Feuerfortschritt, große

Fig. 28.



Meiserscher „Stiftofen“ im Bau.

Fig. 29.



Elektrodenofen. Patent Meiser.

Leistung. 4. Geringer Brennstoffverbrauch. Gegenüber periodisch arbeitenden Öfen etwa 30 Proz. Kohlenersparnis. 5. Tadelloser Brand. 6. Ununterbrochener Betrieb, daher gleichmäßige und beste Ausnutzung der Arbeitskräfte. 7. Leichte, nicht anstrengende Bedienung.

Der Verbrauch an Tiegeln und Kassetten macht aber das Brennverfahren recht teuer. Neuerdings sucht nun Fr. Karl Meiser, D. R.-P. 320247, 1917, diese dadurch zu ersetzen, daß er vor dem Brennen einen nicht brennbaren, für die spätere Verwendung unschädlichen Schutzkörper auf chemischem oder mechanischem Wege aufbringt, der die Kunstkohle während des Brennens vor dem Verbrennen schützt. Für die Anoden zur Aluminiumdarstellung soll naturgemäß Tonerde zur Anwendung kommen, da sie die Kohle im Brennprozeß nicht nur zu schützen vermag, sondern auch ihren Abbrand im elektrolytischen Bade verhindern soll, der unmittelbar über der Badkruste so häufig sein Zerstörungswerk vollbringt und einen allzu raschen Verschleiß der Anoden bedingt. Von einer Anwendung des Patentes in der Großindustrie ist uns nichts bekannt geworden. Die Muffeln (Kassetten) vermag man gegenwärtig durch richtige Auswahl des Materials so herzustellen, daß sie jahrelang halten. Der Tiegelschluß aber, der allerdings den Betrieb verteuert, hat dazu geführt, daß derartige Öfen neuerdings nur noch selten in Neuanlagen, und dann nur für Spezialzwecke eingerichtet werden.

Nach dem Verlassen des Ofens ist die Elektrode meistens sofort gebrauchsfertig. Sie muß ganz sein, darf keine Risse aufweisen und soll beim Anschlagen einen hellen Klang geben. Hat sie sich etwas verzogen oder ist ein Schwalbenschwanz anzubringen, so dient gewöhnlich eine Diamantkreissäge zur weiteren Bearbeitung.

Untersuchung der Elektroden.

Sie erstreckt sich auf die Feststellung der Leitfähigkeit und die Bestimmung des Aschengehaltes.

In der Société des Carbures werden die Elektroden nach Angaben von Bullier wie folgt geprüft:

Vorerst muß ein guter Kontakt hergestellt werden, da der zu messende Widerstand außerordentlich gering ist. Man erreicht dies auf folgende Weise: Die Elektrode wird senkrecht in eine Blechbüchse von 20 bis 20 cm Höhe und etwas größerem Durchmesser, als ihn die Elektrode besitzt, hineingestellt und mittels Backen etwa 10 mm über dem Boden der Hülse gehalten. Dann wird der Zwischenraum in der Hülse mit Blei ausgegossen. Dasselbe geschieht mit dem anderen Ende. Dann werden die Hülsen abgezogen und in zwei Löcher, die in der Bleihülse angebracht worden sind, wird Quecksilber hineingegossen. An die Quecksilberkontakte wird nun eine Thomsonsche Brücke zur Messung kleiner Widerstände gelegt

und mit ihrer Hilfe der Widerstand bei bestimmter Temperatur gemessen. Elektroden aus Retortengraphit zeigen ein Leitvermögen = 5,1 bis 5,5 Mikroohm pro Zentimeter. Die Leitfähigkeit wird um so besser, je höher und länger die Elektroden gebrannt werden. Die beste Leitfähigkeit zeigen zweifellos die nach Acheson elektrothermisch zu grauem Graphit gewordenen Elektroden, deren Verwendung nur der hohe Preis hindernd im Wege steht. Gewöhnlich leiten größere Elektroden, trotz gleicher Herstellung, den Strom schlechter als kleine, weil bei diesen der Brennprozeß (1000 bis 1100° C) bis ins Innere der Kohle ausreichend gewirkt hat. Bemerkenswert ist noch, daß Kohle die Eigenschaft der Leiter zweiter Klasse besitzt, nämlich mit erhöhter Temperatur auch bessere Leitfähigkeit zu haben.

Bestimmung des Aschengehaltes. Die Prüfung der Kohle auf Reinheit hat stets stattzufinden. Nach Brustin (Petroleum 15, Nr. 10) wird diese mit Vorteil im Sauerstoffstrom vorgenommen. Sie erfolgt im Rosetiegel und dauert bei richtiger Gaszufuhr und Anwendung einer feinpulverisierten Probe nicht länger wie eine Viertelstunde. Die Zusammensetzung des Rückstandes erfolgt unter Umständen nach bekannten Methoden. Eine Kohle mit mehr als 2 Proz. Verunreinigung ist für die Aluminiumelektrolyse unbrauchbar und zu verwerfen.

Methoden zur Messung und Berechnung der Stromwirkungen.

Die bei der Elektrometallurgie des Aluminiums in Betracht kommenden Stromwirkungen sind teils chemischer, teils thermischer Art. Die chemischen berechnen sich nach dem Faradayschen Gesetz, wonach durch je 736 Amp. pro Stunde 0,247846 kg Aluminium ausgeschieden werden sollen.

Die eintretenden Wärmewirkungen sind die Folge des Widerstandes, den der Elektrolyt dem Durchgang des Stromes bietet.

Die Verhältnisse werden so gewählt, daß diese genügen, um den Elektrolyten ohne äußeren Wärmezusatz im Schmelzfluß zu erhalten.

Die Größe dieser Wärmewirkung ergibt sich nach dem Jouleschen Gesetz, wonach die in einem vom Strom durchflossenen Leiter entwickelte Wärmemenge proportional dem Quadrat der Stromstärke und umgekehrt proportional dem Widerstande des Leiters und der Zeitdauer ist. Die Anzahl Kalorien, die entwickelt werden, lassen sich durch folgende Gleichung ausdrücken:

$$Q = 0,00024 \cdot \frac{e^2}{w} \cdot t \text{ große Cal.}$$

Danach läßt sich auch, wenn die spezifische Wärme eines einzuschmelzenden Körpers bekannt ist, ebenso die durch Ausstrahlung

entstehenden Verluste, die Temperatur berechnen, auf die ein auf elektrischem Wege eingeschmolzener Körper erhitzt wird.

Es könnte so beispielsweise folgende Aufgabe berechnet werden: Welche Wärmemenge wird in einem elektrischen Schmelzofen während einer Stunde erzeugt, wenn gegeben sind 10 Volt und 1000 Amp., und welche Menge Kryolith wird dadurch auf die Schmelztemperatur von 930°C bei einer spezifischen Wärme von 0,238 gebracht? (Vorausgesetzt wird, daß unbekannte Ausstrahlungsverluste hier nicht in Betracht kommen.)

Die Lösung ist: Es wurden entwickelt

$$Q = 0,00024 \cdot 10 \cdot 1000 \cdot 3600 = 8640 \text{ große Cal.}$$

Bei der gegebenen Schmelztemperatur von 930°C und 0,238 spezifischer Wärme lassen sich damit 39 kg Kryolith zum Schmelzpunkt erhitzen.

Wenn irgend ein Elektrolyt durch die Stromwirkung auf bestimmter Temperatur gehalten werden soll, so kann die Einregulierung auf zweierlei Weise bewirkt werden. 1. Es kann eine längere oder kürzere Strecke des Elektrolyten, der als Widerstand dient, bei gleichbleibender Stromstärke und Stromdichte eingeschaltet werden. Der Widerstand und folglich auch die Erhitzung nimmt dann proportional der Länge des eingeschalteten Widerstandes zu. 2. Es kann aber auch eine Regulierung der Temperatur durch Veränderung der Stromdichte bei gleichbleibender Elektrodendistanz erreicht werden. Die Temperatur ändert sich dann (Ausstrahlungsverluste abgerechnet) proportional dem Quadrat der Stromstärke.

Ob eine oder andere Art der Temperaturregulierung zur Verwendung kommen soll, ergibt sich aus den näheren Umständen.

Da eine größere Elektrodendistanz meist die Ausbeute verbessert, indem Strömungen von der Kathode zur Anode dann weniger Verluste bringen, so darf ein Minimum nicht überschritten werden.

Ist bei einem bestimmten Minimum der Elektrodendistanz die Hitzewirkung noch zu groß, so muß die Stromdichte verringert werden, um eine Temperaturniedrigung zu erreichen. Ist die gewünschte Temperatur zu einem bestimmten notwendigen Minimalabstand aber nicht erreicht, so kann sowohl Vergrößerung der Stromdichte als auch Vergrößerung der Elektrodendistanz Hilfe bringen. Meist wird letzteres Mittel gewählt, weil mit Vergrößerung der Stromdichte auch größere Spannungsverluste in der Stromzuleitung entstehen. Die aufzuwendende Gesamtbadspannung setzt sich zusammen aus der zur Elektrolyse notwendigen Zersetzungsspannung und derjenigen, die notwendig ist, um den Widerstand des Elektrolyten zu überwinden.

Die Zersetzungsspannung läßt sich annähernd aus der Bildungswärme der zu zersetzenden Substanz berechnen. Die bei der Ent-

stehung eines Grammmolekulargewichts der bekannteren Verbindungen in Erscheinung tretende positive oder negative Wärmemenge ist, in Gramm- oder Kilogramm-Kalorien bestimmt worden und aus thermochemischen Tabellensammlungen zu ersehen.

Es ist nun bekannt, daß zur elektrolytischen Zerlegung einer chemischen Verbindung eine EMK von einer der betreffenden Verbindung entsprechenden Größe, sagen wir E Volt, notwendig ist, und daß 96537 Coulomb mit jedem Gramm-Äquivalent der verschiedenen Ionen wandern. 96537 $\cdot E$ Volt \cdot Coulomb ist also die zur Elektrolyse eines Gramm-Äquivalents einer chemischen Verbindung erforderliche Arbeit. Das Wärmeäquivalent von

$$1 \text{ Volt} \cdot \text{Amp.} \cdot \text{sec} = 1 \text{ Volt} \cdot \text{Coulomb} = 0,24 \text{ g/Cal.}$$

Es gilt also nach Thomson die Formel:

$$E = \frac{W}{n(96537 \cdot 0,24)} = \frac{W}{n \cdot 23169},$$

wobei E = elektromotorische Kraft in Volt, W = Bildungswärme pro Grammmolekül bei der Zersetzungstemperatur, n = Valenzzahl.

Soll z. B. die zur Zerlegung von Tonerde aufzuwendende Badspannung berechnet werden, so ist dieselbe, da $W = 193$ und $n = 3$:

$$E = \frac{193}{3 \cdot 23169} = 2,79 \text{ Volt.}$$

Hierzu kommt noch die Spannung, die durch den Betrag der notwendigen Widerstandserhitzung bestimmt wird. Sie ist abhängig von den Ausstrahlungsverlusten des Bades und von einer minimal einzuhaltenden Elektrodendistanz, ebenso von der Menge des zugeführten Stromes, ausgedrückt in Ampere. Dies gilt bei Verwendung von unlöslichen Elektroden. Werden, wie es bei der Aluminiumdarstellung der Fall ist, Elektroden verwendet, die mit einem oder mehreren der abgeschiedenen Produkte sekundär in Reaktion treten, so ist eine Korrektur anzubringen, die der Bildungswärme der entstandenen Produkte entspricht und in Volt umzurechnen ist. Sie kann positiv oder negativ sein.

Im Falle der Aluminiumdarstellung bildet sich an der Anode Kohlenmonoxyd mit einer positiven Bildungswärme von 29160 Cal bei 15° C oder 30367 Cal bei 1000° C, und es ist der Betrag von $E = \frac{30367}{2 \cdot 23169} = 0,66$ Volt von der Summe Zersetzungsspannung + Erhitzungsspannung in Abzug zu bringen.

Liegen Gemische verschiedener Elektrolyten zur Zersetzung vor, so werden normalerweise vorerst stets diejenigen Verbindungen zerlegt, die die geringste Bildungswärme haben und folglich auch die geringste Zersetzungsspannung erfordern.

Wird jedoch eine bestimmte Stromdichte überschritten und damit auch (wenn die damit verbundene größere Energiezufuhr nicht rasch genug als Wärme abgeführt werden kann) in einem Gemisch zweier Verbindungen die höhere Zersetzungsspannung erreicht, so werden beide Verbindungen gleichzeitig zerlegt. Diese Verhältnisse können eintreten in dem Falle, wo Aluminiumfluorid und -oxyd im Gemisch mit Natriumfluorid gleichzeitig der Stromwirkung unterworfen werden. Bei der Besprechung des Elektrolyten, der zur Aluminiumdarstellung dient, soll auf diese Verhältnisse näher eingegangen werden.

2. Der Ofenbetrieb.

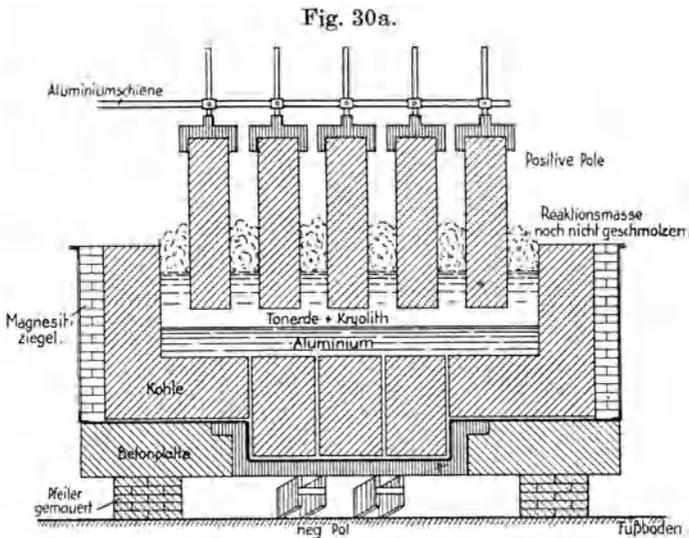
Die Badkonstruktion.

Schon in dem geschichtlichen Teile dieses Buches hatten wir auf die grundlegende Bedeutung einer richtigen Ofenkonstruktion hingewiesen. Seit dem Anfang der 90er Jahre ist die Frage des geeignetsten Ofenmaterials entschieden. Nur Kohle und Eisen können hierfür in Frage kommen. Doch haben auch diese beiden Materialien bedeutende Mängel. Kohle ist stets porös, und da die Badschmelze in die feinsten Haarrisse fließt, dringt sie in dieselben ein und übt dann eine sprengende Wirkung aus. Gute Kohlen widerstehen längere Zeit, schlechte werden rasch zerstört. In der noch heute sehr lesenswerten Experimentaluntersuchung von F. Haber und R. Geipert (Zeitschr. f. Elektrochem. 1902), „Versuche über Aluminiumdarstellung“, wird berichtet, daß gründlich getrocknete Kohle den Einflüssen der Elektrolyse gut widerstand, daß aber der geringste Feuchtigkeitsgehalt derselben eine sprengende Wirkung ausübte. Die Verfasser schreiben also die ungünstige Wirkung der Entwicklung von Wasserdämpfen zu. Es ist in der Technik schwer, die letzten Feuchtigkeitsspuren von dem Ofenmaterial fernzuhalten. Man kam daher, möglicherweise unter dem Einfluß der Haberschen Beobachtung, dazu, überhaupt auf die Kohle als Ofenkonstruktionsmaterial zu verzichten und sie nur dort zu verwenden, wo es unumgänglich notwendig ist.

In der Großindustrie wandte man sich davon ab, die Wandungen, wie in den 90er Jahren, mit Kohlenstampfmasse als Wärmeschutz auszukleiden. Man zog es vielmehr vor, einfache schmiedeeiserne Kästen zu benutzen, die zum Schutze gegen Formveränderungen mit Winkeleisen versteift sind. Gußeisen ist bei dieser Ofenkonstruktion nicht verwendbar, weil es bei schroffen Temperaturänderungen leicht springt und weil sein Schmelzpunkt außerdem nahe bei derselben Temperatur liegt, welche die Schmelze besitzt. Gegen die zerstörenden Einflüsse der Badschmelze wird der Eisenkasten durch eine erstarrte Schicht dieser letzteren selbst geschützt,

so daß also in Wirklichkeit das Material der Schmelze selbst als Gefäßwand dient und die Eisenkonstruktion dieser nur den nötigen Halt gibt. (Vgl. hierzu die Anlage eines normalen Aluminiumbades, Fig. 32.)

Nach Flusin (Zeitschr. f. Elektrochem. 1912) sollen sich derartige Öfen in der Praxis aber nicht bewährt haben. Gegenwärtig benutzt man wohl wieder in allen Betrieben Öfen, deren Seitenwände mit Wärmeisolation versehen und auf der Innenwandung mit Kohlenmasse ausgekleidet sind (Fig. 30 a). Dabei ist peinlich darauf zu achten, daß in der Auskleidung keinerlei Risse und Spalten vorhanden sind und daß die gesamte Kohlenmasse leitend gebrannt ist, so daß auch die



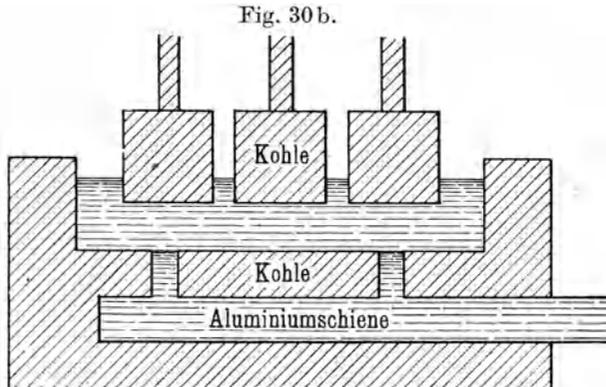
Moderner Aluminiumofen (schematisch).

Seitenwände als Elektroden wirken können. Askenasy urteilt (Einführung in die technische Elektrochemie): „Die Kohlenauskleidung an den Rändern des Bades bis oben hin zu führen, ist unbedingt am zweckmäßigsten. Da der vertikale Rand des Bades nicht als Kathode arbeiten soll, schon mit Rücksicht auf den dann auch in der Vertikalen eintretenden Verbrauch der Anoden, so galt und gilt als Grundsatz, daß eine kleine Schicht erstarrter Schmelze zwischen dem Badrand und der Schmelze stehen bleibe. Grenzt diese nun direkt an die Eisenumkleidung, so werden die Wärmeverluste ganz wesentlich größer, als wenn noch eine immerhin schlecht Wärme leitende Kohlschicht dazwischengeschaltet ist.“ Die erstarrte Schmelzschicht am Rande des Bades bekommt man übrigens leicht, wenn man die Anoden bei 6 cm Bodenabstand mindestens 15 cm vom Rande entfernt hält.

Der Boden des Bades dient im besonderen als Kathode. Er ist mit Kohlenplatten ausgelegt, die ähnlich wie die Anodenkohlen gut leitend

gebrannt sind. Auf ihnen sammelt sich das abgeschiedene Metall, das schließlich selbst die Funktion der Kathode übernimmt. Aus Eisen kann man den Boden nicht machen, weil sich das abgeschiedene Aluminium bei der vorhandenen Schmelztemperatur mit dem Eisen legieren würde und weil bei Beginn des Arbeitens mit Widerstandserhitzung lokal so hohe Temperaturen entstehen, daß das Eisen schmilzt.

Mit ganz besonderer Sorgfalt muß der Kontakt zwischen der kathodischen Stromzufuhr und dem Kohlenboden hergestellt werden, damit der Übergangswiderstand möglichst niedrig gehalten werden kann. So pflegt man vielfach die Kohlenblöcke des Bodens mit Schraubenbolzen fest zusammenzuziehen oder horizontale Eisenstäbe als Stromführer in die Stampfmasse einzubringen und solche Badkästen ähnlich den Anodenkohlen zu brennen, bis alle flüchtigen Bestandteile entfernt sind.



Noch weiter geht sogar ein Patent der Aktieselskabet Norsk Aluminium Company (D. R.-P. 390453, 1922) (Fig. 30 b). Es empfiehlt an Stelle des Eisens Aluminiumschienen in das Bad einzubauen, die entweder direkt mit dem abgeschiedenen Metall in Berührung stehen oder nur durch eine dünne Schicht von Elektrodenkohle von diesem getrennt sind. Aluminium ist ein viel besserer Leiter als Kohle oder Eisen. Alle Übergangswiderstände werden vermieden. Auch dadurch, daß Aluminium ein guter Wärmeleiter ist, kann der Boden des Bades bequem auf niedriger Temperatur gehalten werden. Durch die schlecht leitenden Kohlschichten, die aus leicht ersichtlichen Gründen am Boden eine Mindestdicke haben müssen, erhält man dagegen dauernd Energieverluste, die als höchst unerwünschte Erwärmung auftreten und durch Kühlanlagen unschädlich gemacht werden müssen. Durch Beseitigung aller Übergangswiderstände und aller schädlichen Überhitzung mit Hilfe des Aluminiums selbst sollen die preisverteuernden Verluste an Energie auf ein Mindestmaß herabgedrückt werden.

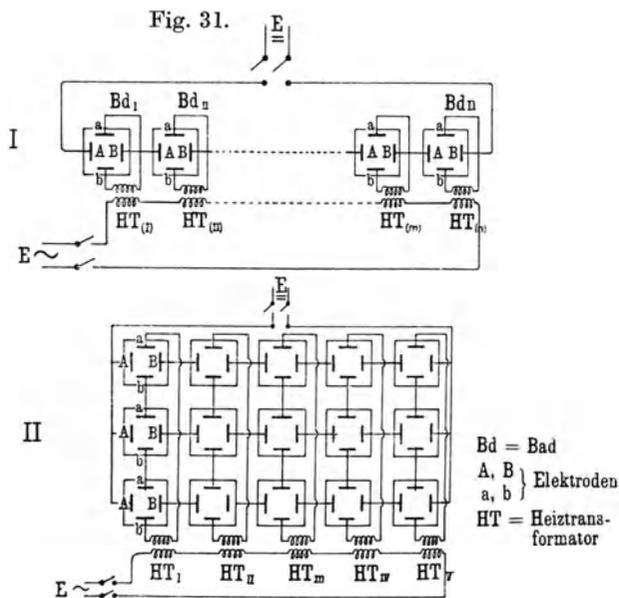
Wir werden noch an späterer Stelle darlegen müssen, daß die Einhaltung der richtigen Temperatur auch für den elektrolytischen Prozeß selbst von größter Bedeutung ist, eine Tatsache, die schon von Kiliiani erkannt und ausgesprochen worden ist. Auf Wärmeschutz einerseits und Kühlvorrichtungen andererseits ist man daher seit langem bei den Ofenkonstruktionen Bedacht gewesen. Neuerdings baut man in die Bäder wärmeisolierende Luftkammern ein, die jedoch so eingerichtet sind, daß man sie auch zur Luftkühlung verwenden kann. Im wesentlichen gilt in dieser Hinsicht, was bereits Winteler in der ersten Auflage dieses Buches ausführt. Die Aufstellung des Bades geschieht zumeist auf isolierten Trägern über einem Luftschacht mit regulierbarer Zugvorrichtung. Der am Boden vorbeistreichende Luftstrom vermag dann das abgeschiedene Aluminium so weit zu kühlen, daß die Schmelztemperatur nicht wesentlich überschritten wird. Befindet sich nämlich das Bad längere Zeit im Betrieb, so wird nach und nach der aus Kohle bestehende Bodenbelag zerstört und das geschmolzene Metall kommt mit den doch zurzeit noch ganz allgemein aus Eisen bestehenden Stromzuführern in Berührung. Bei Temperaturen wenig über dem Schmelzpunkt des Aluminiums legiert es sich nicht mit dem Eisen, bei höheren Hitzegraden dagegen mit großer Leichtigkeit. Das legierte Aluminium ist aber brüchig und daher technisch unbrauchbar.

Die Reguliervorrichtung für den Luftzug ist auch notwendig wegen der je nach den Jahreszeiten wechselnden Ausstrahlungsverluste des Bades, die im Winter naturgemäß eine geringere Kühlung notwendig machen als im Sommer.

Einen beachtenswerten Vorschlag, die Temperaturschwankungen und die unter Umständen daraus folgenden Betriebsstörungen durch den elektrischen Strom selbst zu verringern, macht die AEG in dem Patent 332669, 1918. Sie verwendet Wechselstrom zur Erzeugung der für die Erhaltung des Schmelzflusses erforderlichen Wärme, der unmittelbar das Bad durchfließt, während gleichzeitig die Elektrolyse mit Gleichstrom vor sich geht. Die Heizelektroden sind dabei so angeordnet, daß zwischen ihnen kein Gleichstrompotential auftritt. Für jedes Bad ist ein Heiztransformator vorgesehen. Die primären Wicklungen sämtlicher Heiztransformatoren sind in Reihe geschaltet. Die in bezug auf Gleichstrom parallel geschalteten Bäder gleichen Potentials sind in bezug auf Wechselstrom in Reihe geschaltet, und die Hilfselektroden der in bezug auf den Gleichstromkreis in Reihe geschalteten Bäder können an getrennten Sekundärspulen eines Heiztransformators angeschlossen werden. Außerdem kann je eine Sekundärspulengruppe an die Heiztransformatoren mehrerer in Reihe geschalteter Bäder so angeschlossen werden, daß keine resultierende Gleichstrommagneti-

sierung des Heiztransformators auftritt. Endlich kann man zum ersten Anwärmen des Bades mit Wechselstrom auch die Hauptelektroden benutzen, während man zur Aufrechterhaltung des Schmelzflusses nur die Hilfselektroden verwendet. Man vermeidet dadurch die beim Transformieren des Stromes entstehenden Energieverluste.

Fig. 31 zeigt das Schaltbild für eine Badreihe. Die Hauptelektroden $A B$, $A_1 B_1, \dots$ der Bäder liegen in Reihe in der Gleichstromspannung. Die Hilfselektroden $ab, a_1 b_1, \dots$ führen zu einem Heiztransformator. Die primären Spulen der Heiztransformatoren liegen in Reihe an der Wechselstromquelle E . Die Hilfselektroden der einzelnen Bäder, die in bezug auf den Gleichstrom in Reihe geschaltet sind, können auch an getrennte Sekundärspulen eines



Schaltbild einer Anlage: Elektrolyse durch Gleichstrom, gleichzeitig Erwärmung des Bades durch Wechselstrom.

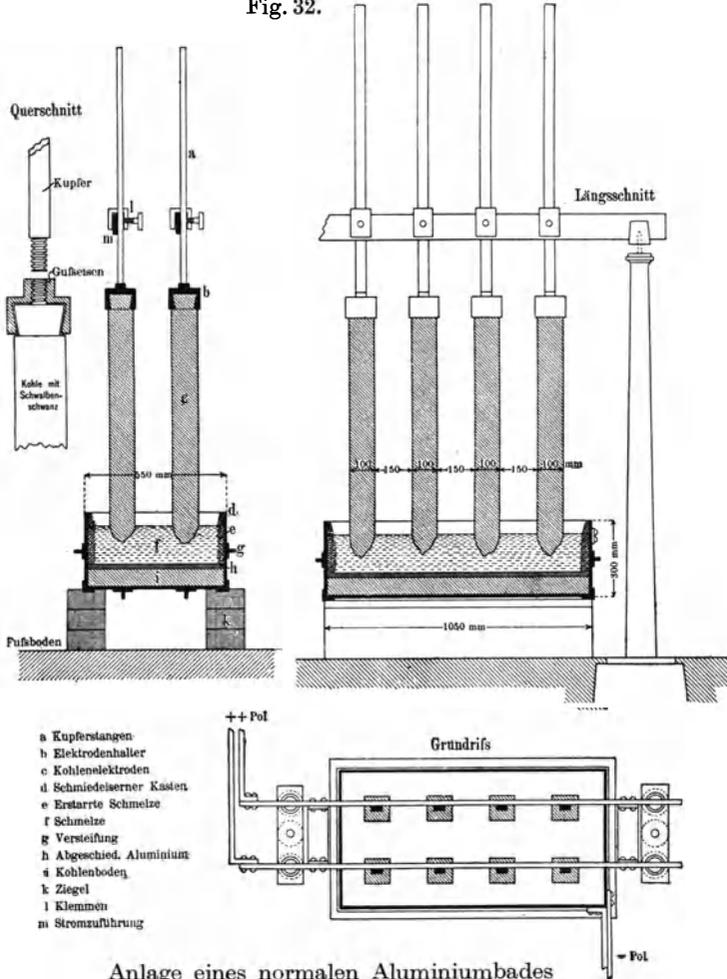
Heiztransformators angeschlossen werden. Sind mehrere Bäder in bezug auf den Gleichstromkreis parallel geschaltet, wie in Fig. 31 angedeutet, so können diese Bäder bei Benutzung der Hilfselektroden in bezug auf den Wechselstromkreis in Reihe geschaltet werden. In Fig. 31 sind z. B. drei Badgruppen von je fünf Bädern in bezug auf die Gleichstromspannung parallel geschaltet, während die Heizelektroden $ab, a_1 b_1, \dots$ in bezug auf den Heizstrom in Reihe geschaltet sind.

Die Dimensionen der Bäder richten sich naturgemäß nach der zur Anwendung kommenden Stromstärke. Zweckmäßig werden für eine Stromstärke von 3200 Amp. folgende Maße gewählt: $l = 1050 \text{ mm}$,

$b = 550 \text{ mm}$, $h = 300 \text{ mm}$. Diesen Verhältnissen ist auch die nebenstehende Zeichnung zugrunde gelegt (s. Fig. 32).

Auch in den größeren 8000-Amp -Bädern hat man 2. 4 Anoden, ähnlich wie in Fig. 32, 10 cm voneinander, 15 cm vom Rande entfernt, angeordnet. Bei den heute bevorzugten 12000- bis 14000-Amp -

Fig. 32.

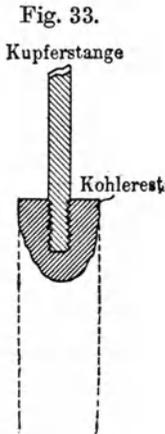


Anlage eines normalen Aluminiumbades
 (ältere Ausführung, vgl. S. 103, Fig. 30a).

Bädern verwendet man 2. 6 Anoden unter entsprechender Vergrößerung des Bades. Über eine Bodenfläche von 2 qm für das einzelne Bad geht man aber selbst bei den stellenweise mit 20000 Amp. arbeitenden Stromstärken nicht hinaus. In den deutschen Aluminiumhütten hat man 60 und mehr Bäder in geräumigen, luftigen Hallen vereinigt. Doch soll es nach Askenasy zweifelhaft sein, ob nicht

die Verwendung kleinerer Hallen vorteilhafter wäre, da in diesen durch künstliche Ventilation der Arbeiterschaft ihre Tätigkeit sehr erleichtert werden kann, während in den großen Sälen der Abzug der heißen Luft lediglich durch Ventilationsspalten im Dache erfolge.

Die Stromverteilung erfolgt gegenwärtig wohl ganz allgemein durch Aluminiumschienen. Als Kathodenstromleiter sind diese direkt mit dem Bade verschraubt, als Anodenzuleiter befinden sie sich dicht über dem Bade. Der Abstand von diesem ist dabei naturgemäß abhängig von der Länge der Elektroden. Die anodischen Aluminiumschienen ruhen auf isolierten Trägern, die genügende Festigkeit besitzen, um sämtliche Elektroden tragen zu können. Bei der Stromzufuhr der letzteren ist man auf innigen Kontakt zwischen dem zuführenden Kupfer- oder Bronze-



stab und der Elektrodenkohle besonders bedacht. So preßt man z. B. das schwalbenschwanzähnliche Ende der Kohle in eine entsprechend geformte Fassung, in die der stromleitende Kupferstab eingeschraubt wird (Fig. 32), oder man schraubt vielfach die metallenen Stromzuführer in die Kohle ein, in die man schon beim Pressen und Brennen scharfgängige Gewinde ausgespart hatte (Fig. 33). Mancherorts verfährt man auch so, daß man in der Elektrodenkohle ein Loch auspart, das oben Gewinde, unten glatte Bohrung aufweist. In dieses Loch steckt man einen Kupferstab und umgießt ihn mit Bronze. Der erreichte Kontakt soll ganz vorzüglich sein.

Eine Vorrichtung zum feinen Einregulieren der Elektroden ist nicht nötig, weil der Abstand zwischen Anode und Kathode nur ungefähr eingehalten zu werden braucht, der zweckmäßig etwa 6 cm beträgt. Eine Regulierung wird überhaupt nur in Zwischenräumen vorgenommen, vorausgesetzt, daß das Bad in normalem Gange ist. Bei schlechter Arbeitsweise kann allerdings auch eine öftere notwendig werden. Dies tritt ein, wenn die Kohlen infolge falscher Anordnung unregelmäßig abbrennen, oder auch, wenn bei unrichtiger Badzusammensetzung sich am Boden ungelöste sandige Massen ansammeln, die ein öfteres Hochziehen der Elektroden notwendig machen. Hierauf soll später noch eingegangen werden.

Der Elektrolyt.

Ein guter Elektrolyt hat folgenden Anforderungen zu genügen:

1. Er muß frei sein von elektronegativeren Metallen, wie es Aluminium selbst ist. Sind solche vorhanden, so wird das gewonnene Aluminium mit diesen verunreinigt.

2. Der Elektrolyt muß bei der Schmelztemperatur des Aluminiums dünnflüssig sein und darf dem Stromdurchgang keinen zu großen Widerstand bieten.

3. Das spezifische Gewicht des Elektrolyten im geschmolzenen Zustand muß geringer sein als das von geschmolzenem Aluminium. Je größer der Unterschied beider ist, um so geringer werden sekundäre Verluste an schon ausgeschiedenem Metall, das durch Strömungen im Elektrolyten mechanisch wieder zur Anode geführt und verbrannt wird.

4. Die Schmelztemperatur darf nicht zu hoch liegen. Sie darf 1200°C nicht übersteigen. Da nämlich Kohleanoden verwendet werden, so mischt sich stets etwas Kohle der Schmelze bei. Wird nun das oben fixierte Temperaturmaximum überschritten, so reagiert, wie schon erwähnt, die in der Schmelze befindliche und auch die den Boden bildende Kohle mit dem Aluminium und bildet Aluminiumcarbid.

5. Der Elektrolyt soll bei der Temperatur, bei der er elektrolysiert wird, möglichst wenig flüchtig sein, damit keine Verluste an Material und auch keine Belästigungen der Umgebung entstehen. Die an der Anode sich entwickelnden Gase sollen ebenfalls möglichst wenig unangenehm wirken.

6. Der Elektrolyt darf während des Betriebes keine störenden Schlacken bilden und muß sich möglichst kontinuierlich verwenden lassen oder soll wenigstens leicht zu regenerieren sein.

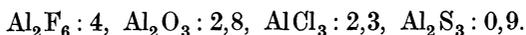
7. Der Elektrolyt muß billig und leicht zu beschaffen sein.

Allen diesen Ansprüchen genügt in vollkommenem Maße kein Elektrolyt. Im historischen Teile ist auf die Versuche hingewiesen worden, eine befriedigende Lösung der Frage zu finden. Bunsen arbeitete erstmalig mit Aluminiumchlorid-Natriumchlorid. Diese Verbindung hat den Vorteil, bei 200°C zu schmelzen. Leider fällt aber bei der Elektrolyse unter dem Schmelzpunkt des Aluminiums dieses pulverförmig aus. Außerdem wird anodisch Chlor entwickelt, was Unannehmlichkeiten mit sich bringt.

Weitere Nachteile bestehen darin, daß sich die Verbindung leicht verflüchtigt und stark hygroskopisch ist.

Spätere Versuche bestehen hauptsächlich darin, daß man die Fluorsalze des Aluminiums mit Fluor- und Chlorverbindungen des Natriums und der Erdmetalle, in verschiedenen Mengenverhältnissen gemischt, elektrolysierte. Ein Verfahren will auch das Sulfid des Aluminiums der Stromwirkung unterwerfen. Nach Angaben der Aluminium-Industrie A.-G. in Neuhausen sollte das Verfahren von Hérault darin bestanden haben, daß man den Strom durch reine unvermischte Tonerde schickte. J. W. Richards, der die elektro-

motorischen Kräfte für die Abscheidung einer Reihe von Metallen mit Hilfe der experimentell bestimmten Äquivalentbildungswärmen nach der bei „Messung und Berechnung der Stromwirkungen“ angegebenen Formel aus den Fluoriden, Chloriden, Oxyden und Sulfiden berechnet hat, gibt für Aluminium die entsprechenden Zersetzungsspannungen in Volt wie folgt an:



Hiernach würde Aluminiumsulfid die geringste Stromarbeit erfordern. Leider muß die Verbindung erst unter großen Kosten aus reiner Tonerde gewonnen werden. Bei der Verwendung reiner Tonerde liegt die Schmelztemperatur so hoch, daß nicht nur ein viel zu hoher Energieverbrauch nötig ist, sondern auch das abgeschiedene Aluminium zu sieden beginnt. Aluminiumchlorid ist aus den schon angegebenen Gründen unbrauchbar (es ist nicht möglich, Aluminium in Schmelzzustand zu bringen, weil sich das Chlorid schon bei 200° C verflüchtigt). Auch das Aluminiumfluorid allein eignet sich aus ähnlichen Gründen ebensowenig zur Elektrolyse wie reine Tonerde.

Erst zweckmäßige Elektrolytgemische gestatten die Aluminiumgewinnung aus dem Schmelzfluß.

In der ersten Auflage dieses Werkes empfiehlt Winteler ein Gemisch von 10 Proz. Tonerde und 90 Proz. Kryolith. Nach Angaben von Haber und Geipert (Zeitschr. f. Elektrochem. 1902) soll auf Grund exakt wissenschaftlicher Untersuchungen besonders brauchbar die Zusammensetzung von je ein Drittel Aluminiumfluorid, Kryolith und Tonerde sein. Durch den Zusatz von Fluoraluminium (oder Flußspat) wird der Schmelzpunkt, der im Winteler'schen Gemisch bei 940° C liegt, auf 800 bis 850° C herabgedrückt. Setzt man noch Kochsalz zu, so kann man die Badtemperatur bis auf 700° C herabdrücken und das spezifische Gewicht der Schmelze noch etwas verringern. Nach Flusin (Zeitschr. f. Elektrochem. 1911) verflüchtigt sich das Kochsalz allerdings sehr schnell. Man benutzt daher diesen Zusatz nicht dauernd, sondern nur dann, wenn ein in Unordnung geratenes Bad wieder in Gang gebracht werden soll. Gegenwärtig arbeitet man bei normaler Fabrikation mit Hilfe von Flußmitteln wohl allgemein bei Temperaturen, die in der Nähe von 850° C liegen.

Die Ergebnisse wissenschaftlicher und praktischer Forschungsarbeit sind in den beiden letzten Jahrzehnten nach Angaben von Borchers hinsichtlich der Zusammensetzung des Elektrolyten folgende:

1. Löslichkeit des Aluminiumoxyds in Kryolith. Die Sättigung liegt bei 21 Gewichts- = 35 Mol-Proz. Al_2O_3 .

2. Natriumfluoridzusätze erhöhen die Löslichkeit des Aluminiumoxyds bis zum Eutektikum: $\text{NaF} + \text{Na}_3\text{AlF}_6$. Weitere Natriumfluoridzusätze bedingen eine Abnahme der Löslichkeit des Aluminiumoxyds.

3. Aluminiumfluoridzusätze verringern die Löslichkeit des Aluminiumoxyds.

4. Sowohl Aluminium- wie Calciumfluoridzusätze verringern die Schmelztemperatur der Kryolithgemische bis auf Temperaturen von 800 bis 850° C.

Von nicht geringem Einfluß auf das Gelingen der Aluminiumelektrolyse ist, wie wohl Haber (1902) zuerst betont hat, wenn es auch in der Technik schon früher bekannt gewesen sein mag, die Dichte des Schmelzgemisches. Es ist unbedingt nötig, daß diese merklich geringer ist als die des geschmolzenen Aluminiums, anderenfalls würden Strömungen entstehen, die das bereits abgeschiedene Metall wieder in den Anodenraum führen, wo es sich erneut oxydieren könnte. Umgekehrt würde sich stark mit dem Elektrolyten verunreinigtes Metall an der Kathode abscheiden. Die Stromausbeute würde empfindlich gestört. In der Tat können diese Verhältnisse bei unrichtiger Zusammensetzung des Elektrolyten leicht eintreten. Pascal und Jouniaux (Bulletin de la Société Chimique de France 1914) haben deshalb die Dichten des geschmolzenen Aluminiums, des Kryoliths, des Tonerde-Kryolith- und des Tonerde-Kryolith-Flußspatgemisches einer gründlichen Untersuchung unterzogen. Hier nur einige Hauptergebnisse!

Aluminium: fest $d = 2,56$, geschmolzen bei 658° C $d = 2,46$, dann stetig abnehmend, bei 925° C $d = 2,37$, bei 1100° C $d = 2,32$.

Kryolith: fest $d = 2,92$, geschmolzen bei 972° C $d = 2,185$, dann wächst die Dichte mit der Temperatur bis zu einem deutlichen Maximum bei 995° C $d = 2,22$, um dann wieder zu fallen bei 1083° C $d = 2,102$.

Verwickelt liegen die Verhältnisse bei den Kryolith-Tonerdebädern. Obwohl das spezifische Gewicht des festen Kryoliths höher liegt als das des festen Aluminiums, sind trotzdem die Verhältnisse bei den Temperaturen des Schmelzflusses gerade umgekehrt. Merkwürdigerweise erniedrigt sich das Dichtemaximum der Kryolithschmelzkurve noch, wenn die doch spezifisch schwerere Tonerde bis zu 13 Proz. zugesetzt wird. Darüber hinaus steigt es allerdings und überschreitet die Schmelzkurve des Aluminiums bei einem Tonerdegehalt von 28 Proz.

Da die Kryolithschmelze während der Elektrolyse ständig an Tonerde ergänzt werden muß, so ist in der Tat mit den beiden Autoren Pascal und Jouniaux die merkwürdige Umkehr der

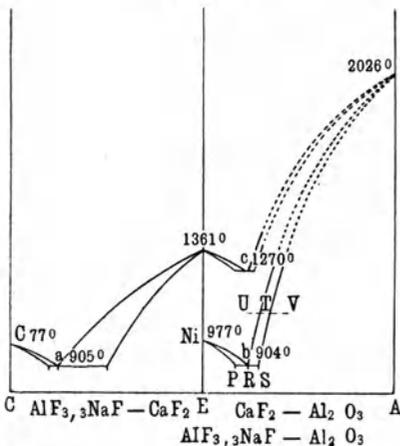
spezifischen Gewichte als ein glücklicher Umstand zu begrüßen, der die störungsfreie Ansammlung des Aluminiums unter dem Elektrolyten am Boden des Bades verbürgt.

Eine weitere Eigentümlichkeit zeigt das gleichfalls gebrauchte ternäre Gemisch Kryolith-Tonerde-Fluospat. Hier erweist sich der Zusatz an Fluospat trotz seines geringeren spezifischen Gewichtes dichtesteigernd. Als praktisch wertvolles Ergebnis dieses Teiles der Untersuchung darf man feststellen, daß im Salzgemisch höchstens 1 Tl. Fluospat auf 2 Tle. Kryolith kommen darf, sonst nähert sich das spezifische Gewicht der Schmelze bedenklich dem spezifischen Gewicht des Aluminiums.

Endlich sei noch erwähnt, daß nach anderen Untersuchungen (Richards) Kryolith mit Aluminiumfluorid, nach der Formel $\text{Al}_2\text{F}_6 \cdot 6(\text{NaF}) + 2\text{Al}_2\text{F}_6$ geschmolzen, eine Dichte von nur 1,97 besitzt, die durch Zugabe von Tonerde bis zur Sättigung auf 2,14 steigt, also unter dem spezifischen Gewicht des geschmolzenen Aluminiums bleibt.

Die thermischen Verhältnisse des zur Aluminiumdarstellung viel gebrauchten Elektrolytgemisches Kryolith-Tonerde-Fluorit haben die schon genannten französischen Forscher Pascal und Jouniaux

Fig. 34.



Nach Pascal-Jouniaux aus Zeitschrift für Elektrochemie 1913.

gleichfalls eingehend untersucht und die gewonnenen Erkenntnisse in leicht verständlichen Schaukurven dargestellt. Hier nur das Wichtigste! Sie ermittelten zunächst die Schmelzdiagramme der drei binären Systeme Kryolith-Fluorit, Fluorit-Aluminiumoxyd und Aluminiumoxyd-Kryolith (Fig. 34).

Alle drei Diagramme zeigen übereinstimmend gegenseitige Löslichkeit bei allen Mischungsverhältnissen im flüssigen, begrenzte Löslichkeit im festen Zustand. Alle drei Systeme zeigen ein Eutektikum, das bei Kryolith-Fluorit die Temperatur 905°C zeigt, während die entsprechenden Werte bei Kryolith-Tonerde 904°C und bei Fluorit-Tonerde 1270°C sind. Im ersten Falle findet sich bei 905°C eine flüssige Phase von 25,4 Proz. Fluorit und 74,6 Proz. Kryolith mit Mischkristallen von 20,9 bzw. 50 Proz. Fluorit und 70,1 bzw. 50 Proz. Kryolith im Gleichgewicht. Im System Fluorit-Tonerde besteht

das bei Kryolith-Fluorit die Temperatur 905°C zeigt, während die entsprechenden Werte bei Kryolith-Tonerde 904°C und bei Fluorit-Tonerde 1270°C sind. Im ersten Falle findet sich bei 905°C eine flüssige Phase von 25,4 Proz. Fluorit und 74,6 Proz. Kryolith mit Mischkristallen von 20,9 bzw. 50 Proz. Fluorit und 70,1 bzw. 50 Proz. Kryolith im Gleichgewicht. Im System Fluorit-Tonerde besteht

im eutektischen Punkte die flüssige Phase aus 26,9 Proz. Tonerde und die festen Mischkristalle aus 20 bzw. 28,5 Proz. Tonerde, während im Kryolith-Tonerdesystem die entsprechenden Werte 24 Proz. und 20 bzw. 29 Proz. Tonerde betragen.

Für die Zwecke der Aluminiumdarstellung lehren die Schaulinien noch, daß man Zusammensetzungen wählen muß, die der des Eutektikums möglichst nahe liegen, wenn man niedrigst schmelzende binäre Gemische zu erhalten sucht.

Will man bei noch tieferen Temperaturen flüssige Schmelzen bekommen, so muß man zu den binären Gemischen noch eine dritte Komponente hinzufügen, das ist z. B. für das Kryolith-Tonerdegemisch ein Zusatz von Fluorit.

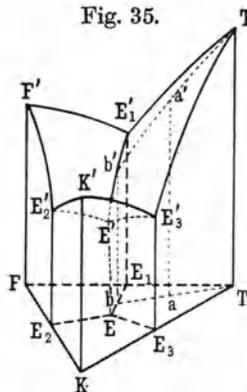
Wie schon aus den drei binären Diagrammen vorauszusehen war, ergab das ternäre System ein einfaches ternäres Eutektikum bei 868°C mit einer Zusammensetzung der Schmelze zu 59,3 Proz. Kryolith, 23 Proz. Flußspat und 17,7 Proz. Tonerde. Im eutektischen Punkte befindet sich die Schmelze mit den drei festen Phasen im Gleichgewicht, die wegen der gegenseitigen Löslichkeit der drei Stoffe nicht reine Komponenten, sondern Mischkristalle sind. Die Zusammensetzung der drei festen Phasen ist durch folgende Tabelle gegeben:

	Kryolith Proz.	Flußspat Proz.	Tonerde Proz.
I.	77,5	16	7
II.	60	15	25
III.	34	54	12

Die drei Komponenten Kryolith = K , Fluorit = F und Tonerde = T lassen sich unter Benutzung eines gleichseitigen Grunddreiecks in ihren gegenseitigen Beziehungen graphisch darstellen (Fig. 36). K ist = 100 Proz. Kryolith, F = 100 Proz. Fluorit und T = 100 Proz. Tonerde. Auf den drei Linien bedeutet jeder Punkt zwischen KF , FT und TK eine Mischung aus den betreffenden zwei Bestandteilen. Die Punkte der Dreiecksfläche dagegen kennzeichnen Mischungen aus allen drei Komponenten K , F , T . Das Verhältnis der Lote des betreffenden Punktes zu den Dreiecksseiten gibt das Verhältnis $K : F : T$. Für alle Punkte innerhalb des Dreiecks ist die Summe der Lote gleich der Dreieckshöhe. Sie kann daher gleich 100 Proz. gesetzt werden. Die Lotlängen eines Punktes im Dreieck geben die Prozentzahlen von K , F und T im ternären Gemisch. Errichtet man auf den Ecken des Dreiecks die entsprechenden Temperatursenkrechten, so kann man die Schmelzpunkte K , F und T eintragen (K' , F' und T') und ferner die Temperaturprozentkurven

der drei binären Systeme. Man erhält dann ein eigentümliches räumliches Gebilde, das die verwickelten thermischen Verhältnisse in übersichtlicher Weise veranschaulicht. In Fig. 35 ist der betreffende Schaukörper perspektivisch gezeichnet. Es bedeutet in diesem E_1 das binäre Eutektikum von T' und F' , E_2 das von F' und K' und E_3 das von K' und T' . E' ist das ternäre Eutektikum. Die Kristallisation der drei Komponenten wird durch die in das dreiseitige Prisma sich einsenkenden Flächen $T'E'_1E'E'_3$, $F'E'_1E'E'_3$ und $K'E'_2E'E'_3$ veranschaulicht. Die Fußpunkte der Lote im Grunddreieck E_1 , E_2 , E_3 und E' lassen unschwer die den eutektischen Punkten entsprechenden Mischungsverhältnisse erkennen. Oberhalb der Fläche $T'E'_1F'E'_2E'E'_3K'E'_3$ hat man die homogene Schmelze,

Fig. 35.



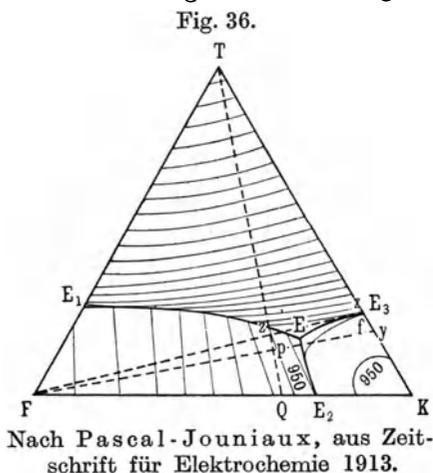
Erstarrungsschaubild
der ternären Schmelze
Kryolith-Tonerde-
Flußspat.

unterhalb E' die aus drei Mischkristallen bestehende feste Phase. Nehmen wir z. B. eine Mischung entsprechend Punkt a im Grunddreieck an. Das in diesem Punkte errichtete Lot schneidet die Ausscheidungsfläche in a' . Bei dieser Temperatur scheidet sich also ein Mischkristall ab. Sinkt nun die Temperatur, so läuft die Kristallisationsbahn in Richtung $a'b'$. Loten wir nach dem Grunddreieck, so finden wir, daß die Fußpunkte auf einer Geraden $T'b$ liegen, d. h. es scheiden sich Mischkristalle aus, in denen die Komponenten F' und K' in konstantem Verhältnis stehen. Bei b' wird die Ausscheidungsfläche von F' getroffen. Die Kristallisationsbahn folgt nunmehr der eutektischen Linie E'_1E' , d. h. Mischkristalle vom Typus T' und F' scheiden sich gleichzeitig ab. Bei weiterem Temperaturabfall wird schließlich der ternäre eutektische Punkt E' erreicht, bei dem sich alle drei Phasen (Typus T' , F' und K') gleichzeitig bei konstanter Temperatur und Mischung abscheiden, bis die Schmelze fest ist. Erst dann kann ein weiteres Sinken der Temperatur stattfinden.

In übersichtlicher Weise kann man die oben dargelegten Verhältnisse auch in ebenen Dreiecksdiagrammen veranschaulichen. Wenn man den Schaukörper durch Horizontalebene in verschiedener Höhe zerlegt, so bekommt man Schnittkurven der betreffenden Ebenen mit den Ausscheidungsflächen $T'E'_1E'E'_3$, $F'E'_1E'E'_3$ und $K'E'_2E'E'_3$. Projiziert man diese isothermen Dreiecke in das Grunddreieck, so erhält man z. B. in unserem Falle das Bild der Fig. 35. Die Kurven sind im Abstand von je 50° aufgenommen. Jeder Kurvenpunkt besagt, daß die erste feste Abscheidung erfolgt, wenn ihm die Zusammensetzung der Schmelze entspricht. Die Kurven

E_1E , E_2E und E_3E sind die Projektionen der entsprechenden eutektischen Linien des Raumdiagramms.

Aus Fig. 36 lassen sich unschwer die von der Technik einzuhaltenden Konzentrations- und Temperaturbedingungen erkennen. Die in Betracht kommenden Mischungsverhältnisse liegen in dem gestrichelten Viereck $xypz$. Die Linien Fx bzw. Fy stellen Gemische mit Tonerde 25 : 75 und Kryolith 20 : 80 dar, während TQ Gemische mit einem konstanten Gehalt an Fluorit und Kryolith im Verhältnis 36 : 64 darstellt. Innerhalb dieses Vierecks liegt der ternäre eutektische Punkt. Da die Isothermen über 950°C außerhalb des Vierecks liegen, muß die Schmelze bei Temperaturen von 950°C und darüber unbedingt flüssig sein.



Vorgänge während der Elektrolyse.

Die Vorgänge während der Elektrolyse von Kryolith-Tonerdegemischen sind durch die Arbeiten von Haber-Geipert und Pascal-Jouniaux in wesentlichen Punkten aufgeklärt. Noch Winteler vertritt in der ersten Auflage dieses Buches die Ansicht, daß, abgesehen von der eigentlichen Elektrolyse, in einem Aluminiumbade Gleichgewichtszustände zwischen Aluminium und Natrium bestehen, die von der Temperatur abhängig sind. Man könne also nicht nur mit metallischem Natrium Aluminium aus seinen Verbindungen, wie bekannt, darstellen, sondern umgekehrt bei noch höherer Temperatur mit metallischem Aluminium Natrium aus seinen Verbindungen reduzieren. Seine Ansicht stützt er dabei auf folgende Beobachtung: Erhitzt man reinen Kryolith bis zu 1000°C , so tritt scheinbar keine Reaktion ein, steigert man aber die Temperatur bedeutend über 1000°C , so zeigt sich an der Oberfläche eine gelbe Natriumflamme.

Die Folgerung nun, daß die Affinität des Fluors bei Temperaturen über 1000°C zum Aluminium größer sei als zum Natrium, kann aus der angeführten, an sich richtigen Beobachtung unseres Erachtens jedoch nicht gezogen werden, da sie eine viel ungezwungener Erklärung in dem Vorhandensein von Strömungen im überhitzten Bade findet. Durch diese wird flüssiges Metall unter Umständen zur Anode zurückgeführt, wo es unter Gelbfärbung der

Flamme infolge des Natriumgehaltes im verdampfenden Kryolith verbrennt. Auch die Störung der Elektrolyse bei zu hohem Tonerdegehalt, die durch Dickflüssigwerden der Schmelze das Zusammenfließen an der Kathode erschweren soll, wird durch Pascal und Jouinaux überzeugend darauf zurückgeführt, daß die Dichte des Elektrolyten bei zu hohem Tonerdegehalt den des geschmolzenen Metalles übertreffe und dadurch schädliche Strömungen im Bade veranlasse.

Von besonderer Bedeutung für die Aluminiumdarstellung ist die Frage, ob die im Kryolith gelöste Tonerde primär durch den Strom zerlegt wird oder ob der Kryolith, bzw. das Aluminiumfluorid oder Natriumfluorid zersetzt werden. Mit Hilfe der aus den Äquivalentbildungswärmen errechneten Zersetzungsspannungen kann diese Frage entschieden werden. Wir finden für Natrium- und Calciumfluorid 4,7 Volt, für Natriumchlorid 4,3 Volt, für Aluminiumfluorid 4,0 Volt und für Aluminiumoxyd 2,8 Volt Zersetzungsspannung. Daraus ist zu schließen, daß bei geringen Stromdichten aus einem Gemisch von Tonerde mit Aluminiumfluorid und Natriumfluorid zuerst Tonerde zerlegt wird. Übersteigt die Stromdichte ein Maximum, so wird Aluminiumfluorid mit zerlegt, und bei weiterer Steigerung kann auch die Zerlegung des Natriumfluorids bewirkt werden.

Für die Annahme, daß die Tonerde der eigentliche Elektrolyt und die anderen Zusätze nur dessen Lösungsmittel sind, spricht die Tatsache, daß reiner geschmolzener Kryolith einen viel höheren Spannungsaufwand zu seiner Zerlegung erfordert als ein Gemisch von Kryolith mit 10 Proz. Tonerde. Befinden sich z. B. die Elektroden in einem Abstand von 6 cm, so ist bei einer Stromdichte von 500 Amp./qdm die erforderliche Spannung (inklusive Spannungsverlust in der Kohle bei $L = 1$ m) 16 bis 17 Volt. Werden 10 Proz. Tonerde in die Schmelze verrührt, so sinkt die Spannung plötzlich auf 7 bis 8 Volt. Diese Spannungsdifferenz ist so bedeutend, daß man sie im Betrieb sogar als Reagens auf die richtige Badzusammensetzung benutzen kann. Hat das Bad normalerweise eine Spannung von 7 bis 8 Volt und fängt diese plötzlich an zu steigen, so weiß man, daß es dem Bade an Tonerde fehlt, und man rührt so lange ein, bis man die frühere Spannung wieder erreicht hat. Für den Arbeiter läßt sich diese Schwankung in der Spannung leicht dadurch kenntlich machen, daß man eine Glühlampe von 30 Volt, nach anderen Angaben 20 Volt je 9 bis 10 Volt Normalspannung als Nebenschluß in den Stromkreis Anode—Kathode einschaltet. Bei richtiger Badzusammensetzung bleibt diese dunkelrot glühend, leuchtet dagegen sofort auf, wenn zu wenig Tonerde im Bade vorhanden ist. Übrigens kündigt sich die Überspannung nach Lodi

schon lange vorher dadurch an, daß die Stromzuführungsschienen anfangen zu vibrieren und zu summen, was durch den sogenannten Anodeneffekt bewirkt wird, das ist die Bildung von Lichtbogen zwischen Elektrode und Schmelze, verursacht durch mangelhafte Benetzung der letzteren durch erstere infolge zu großer Gasbildung. Leuchtet die Nebenschlußlampe auf, so ist unverzüglich die das Bad deckende Kruste mit der darauf lagernden Tonerde zu durchstoßen und in der Schmelze zu versenken und nach Rückbildung der Kruste erneut feste Tonerde als Wärmeschutz und zum Vorwärmen für spätere Verwendung darüberzustreuen.

Mit der Tonerdezerlegung geht aber bei den in der Technik angewendeten Stromdichten von 300 bis 500 Amp./qdm eine teilweise Zerlegung des Aluminiumfluorids vor sich. Diese Tatsache beweisen die empfindlichen Fluorverluste im Bade. Die Beobachtung zeigt, daß sich während der Elektrolyse an der Anode Kohlenoxyd bildet, das mit blauer Flamme zu Kohlensäure verbrennt. Nebenbei entweicht aber auch ein Gas, das an der Badoberfläche Ruß abscheidet. Winteler glaubt, daß dieser aus dem voraussichtlich entstehenden Fluorkohlenstoff durch Einwirkung des gleichfalls sich bildenden Kohlenoxyds erzeugt würde. Haber stellt die Bildung von Fluorkohlenstoff ausdrücklich in Abrede, allerdings ohne die Tatsache von Fluorverlusten zu bezweifeln. Am wahrscheinlichsten ist es jedenfalls, daß die schon vorhandenen Fluoride des Aluminiums und Natriums sich von einer kritischen Temperatur an kontinuierlich verflüchtigen. Namentlich das erstere erweist sich bei der in der Technik eingehaltenen Temperatur des Schmelzprozesses so flüchtig, daß außer durch Zusatz von Tonerde auch durch Zugabe von Aluminiumfluorid die Zusammensetzung des Elektrolyten konstant erhalten werden muß. Würde man bei fortgesetzter Elektrolyse Kryolith als Fluorersatz benutzen, so würde sich der Elektrolyt dauernd an Natriumfluorid anreichern und mit der Zeit unbrauchbar werden. Die Menge des zuzusetzenden Aluminiumfluorids richtet sich nach den Fluorverlusten und schwankt je nach der angewendeten Stromdichte und der eingehaltenen Temperatur. Bei der Elektrolyse verflüchtigt sich stets auch etwas Kryolith. Dieser muß ebenfalls ersetzt werden.

Der landläufigen Ansicht, daß in der Aluminiumbadschmelze die Tonerde der Elektrolyt sei, während der Kryolith als Lösungsmittel anzusehen wäre, treten neuerdings Prof. Dr. Kurt Arndt und Walter Kalass entgegen (Zeitschr. f. Elektrochem., Januar 1924). Sie stellen fest, daß die Leitfähigkeit der Schmelze mit zunehmendem Tonerdegehalt geradlinig bis zu 0 abnimmt (bei einem Tonerdegehalt von 100 Proz.). Die Leitfähigkeit des Bades stimmt dabei sehr genau mit dem Äquivalentleitvermögen des im

Kryolith enthaltenen Natriumfluorids überein. Die beiden Forscher schließen aus ihren Leitfähigkeitsuntersuchungen, daß die Tonerde gar nicht unmittelbar an der Elektrolyse teilnimmt, sondern lediglich das Lösungsmittel für den Kryolith darstellt. Der Vorgang der Aluminiumelektrolyse würde danach doch verwickelter sein, als man bisher annahm. Eine gewisse Analogie zwischen der Tonerdezersetzung und der elektrolytischen Zerlegung von B_2O_3 , CaO , SiO_2 und H_2O scheint hiernach zu bestehen. Ist man doch genötigt, auch sie gleich den letzteren als sekundäre Prozesse aufzufassen.

Die Arbeit am Bade.

Das Einschmelzen des Elektrolyten erfolgt durch Widerstandserhitzung, die wohl mit geringen Abweichungen in allen Aluminiumwerken angewendet wird. So werden z. B. vielfach die Anoden eines in Betrieb zu nehmenden Bades so eingestellt, daß ihre unteren Enden 4 bis 10 cm von der Herdsohle entfernt sind. Darauf wird eine der Anoden bis zum Boden herabgelassen und der Stromkreis geschlossen. Das nunmehr um die Berührungsstelle gehäufte Kryolith beginnt in der sich entwickelnden Wärme sehr bald zu schmelzen. Nach und nach setzt man mehr Kryolith zu, der schließlich bis unter eine benachbarte Elektrode fließt, die nunmehr gleichfalls bis in die Schmelze eingesenkt wird. So fährt man fort, bis sämtliche Anoden des Bades in Betrieb sind. Ist etwa der halbe Schmelzraum mit Kryolith gefüllt, so wird auch allmählich die erforderliche Tonerde eingerührt und die eigentliche Elektrolyse setzt ein. In anderen Werken beginnt man das Einschmelzen gleichzeitig mit sämtlichen Anoden eines Bades, indem man kurze, runde Kohlenstäbe zwischen diese und die Badsohle klemmt und durch den Strom zur Weißglut erhitzt. Beträgt die Stromstärke für die einzelne Kohleanode 400 bis 500 Amp., so haben diese Stäbe zweckmäßig eine Länge von 8 cm und einen Durchmesser von 3 cm. In der Weißgluthitze schmilzt der als Kryolith-Tonerdegemisch sogleich eingebrachte Elektrolyt rasch ein. Erforderlich sind 10 Volt Spannung. Die Dauer des Einschmelzens beträgt für 100 kg der Schmelze bei 3200 Amp. Stromstärke und 10 Volt Spannung etwa 5 bis 6 Stunden. Die Schmelze bildet eine wasserhelle, leicht bewegliche Flüssigkeit, die sich rasch an der Oberfläche mit einer erstarrten Kruste bedeckt.

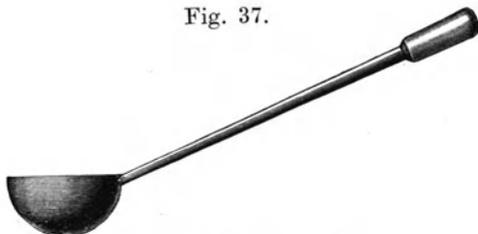
Ist das Bad zur Hälfte mit Schmelze gefüllt, so entfernt man die Heizwiderstände, indem man die Elektroden etwas hebt und die kurzen Stäbe mit eisernen Zangen herausholt.

Wesentlich einfacher gestaltet sich die Inbetriebnahme eines Bades, wenn eine große Anzahl Bäder im gleichen Raume schon im Gange sind. Dann schöpft man einfach glutflüssige Masse aus den Nachbarbädern über und kann sofort mit der eigentlichen

Elektrolyse beginnen. Mancherorts stellt man sich auch die Schmelze in besonderen Öfen her und fährt sie in geeigneten Gefäßen zum Bade. Während der Elektrolyse werden die Anoden auf 6 cm Abstand vom Boden gebracht und späterhin so reguliert, daß der Abstand zwischen Anode und Kathode, die bald vom abgeschiedenen Aluminium gebildet wird, konstant bleibt.

Die Zusammensetzung des Elektrolyten wird möglichst konstant gehalten, indem man die jeweilig zur Herstellung des ursprünglichen Mischungsverhältnisses notwendigen Mengen von Tonerde, Aluminiumfluorid und Kryolith zufügt. Ein richtig zusammengesetzter Elektrolyt ist bei Kirschtrotglut dünnflüssig. Nur auf der Oberfläche soll sich eine etwa 2 cm dicke Kruste von erstarrter Schmelze bilden, die von Zeit zu Zeit durchstoßen werden muß, wenn neue Zusätze zu machen sind, wenn die Elektroden reguliert werden müssen oder das abgeschiedene Aluminium auszuschöpfen ist. Das Ausschöpfen des Metalles

Fig. 37.



Eiserne Schöpfkelle.

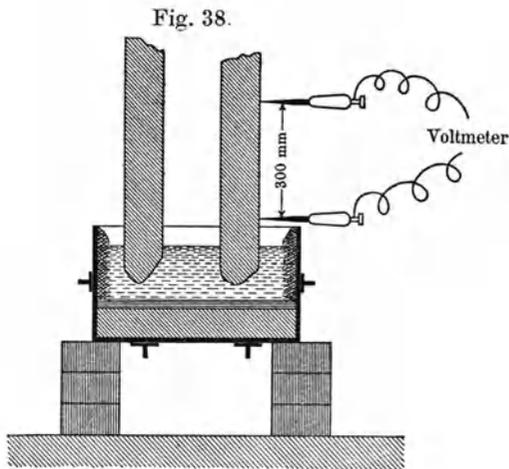
geschieht am einfachsten mit einer eisernen Kelle (Fig. 37). Es ist nur darauf zu achten, daß diese nicht bis zur Rotglut erhitzt wird, weil dann etwas Eisen vom Aluminium aufgenommen wird. Das Verfahren, das flüssige Metall aus einem Abstichloch am Boden des Bades abzuzapfen, hat sich anscheinend nicht bewährt, da es gegenwärtig wohl allgemein verlassen ist. Es war zu schwierig, bei den entstehenden Ausflußströmungen das Bad in Ordnung zu halten. Auch war das gleichzeitige Ausfließen von Schmelze nicht zu vermeiden. Ein drittes, wegen seiner Umständlichkeit wohl nicht allzu verbreitetes Verfahren besteht noch darin, an Stelle einer herausgehobenen Anode einen vorgewärmten Tiegel mit Bodenloch einzutauchen. Das anfänglich mit einem Holzstab verstopfte Loch wird geöffnet, sobald der Tiegelboden in das blanke Metall eintaucht. Das in den Tiegel eingedrückte Metall kann nunmehr ohne Verunreinigung durch das glutflüssige Salzgemisch ausgeschöpft werden.

Das Aluminium wird in eiserne Formen gegossen, wo es zu Rohmasseln erstarrt, die später nochmals umgeschmolzen werden müssen.

Die Kontrolle der Strombelastung der Elektroden.

Da jedes Bad eine ganze Anzahl Elektroden besitzt, so ist es notwendig zu wissen, ob sich der Strom gleichmäßig auf diese verteilt. Befindet sich eine einzelne zu nahe dem Boden, so wird infolge des

geringeren Widerstandes mehr Strom durch sie hindurchgehen als durch die übrigen. Dadurch entsteht eine schädliche Badströmung an der betreffenden Stelle. Die Schmelze kocht gleichsam auf und wirbelt das geschmolzene Metall vom Boden auf. Äußerlich macht sich dieser Fehler durch Heißgehen der Elektrode bemerkbar. In einfacher Weise wird aber die richtige Entfernung der Elektroden und ihre gleichmäßige Belastung dadurch kontrolliert, daß man den Spannungsabfall jeder einzelnen auf ein bestimmtes Stück ihrer eigenen Länge mißt. Sämtliche Kohlen müssen denselben Spannungsabfall zeigen (Fig. 38), anderenfalls müssen sie entsprechend einreguliert werden.



Spannungsabfall in den Anodenkolben.

Die einzuhaltende Elektrodendistanz sei 6 cm. Sie kann nach dem Spannungsabfall zwischen dem Eisentiegel und dem Punkte gemessen werden, wo die Elektrode in den Elektrolyten eintaucht. Der genannten Distanz entsprechen bei gutem Elektrolyten 5 Volt. Auch durch entsprechendes

Einsenken von der Badoberfläche aus kann die richtige Elektrodendistanz eingehalten werden. Doch ist dazu bei der Nachkontrollierung stets ein vorheriges Herausheben der Kohle aus der Schmelze erforderlich.

Eine zu geringe Elektrodendistanz verursacht eine verminderte Ausbeute, weil schon ausgeschiedenes Aluminium wieder nach der Anode gelangt und dort verbrennt. Ist die Distanz aber zu groß, so geht das Bad leicht zu heiß. Außerdem sinkt die Ausbeute in bezug auf die angewandte Energie, weil eine höhere Klemmenspannung erforderlich wird.

Am besten wird eine Strombelastung von 300 bis 500 Amp./qdm Elektrodenquerschnitt gewählt. Hierbei erwärmen sich die Anoden auf 50° bis 60° C infolge des Stromdurchgangs, und der Spannungsabfall beträgt auf 10 cm Länge 0,3 bis 0,35 Volt.

Abstand der Anoden unter sich.

Die Anoden dürfen im Bade nicht allzu nahe beieinander stehen. Ist es der Fall, so bewirkt die aus dem Bade durch Leitung oder Strahlung aufgenommene höhere Temperatur einen raschen Ver-

schleiß. Die Kohlen verbrennen. Es geschieht zwar nicht mit Flamme, aber es tritt Erglühen ein. Die Kohlen verlieren ihre mechanische Festigkeit. Eine Menge kleiner Partikel lösen sich los und fallen auf den Elektrolyten. Diese müssen von Zeit zu Zeit abgeschöpft werden. Da hierbei stets etwas Elektrolyt dem Pulver beigemischt ist, so erhält man bei solch fehlerhaftem Arbeiten sowohl Verluste an Kohle wie an Elektrolyt.

Fig. 39 läßt erkennen, in welcher Weise unter den genannten Verhältnissen das Abbrennen der Kohle erfolgt.

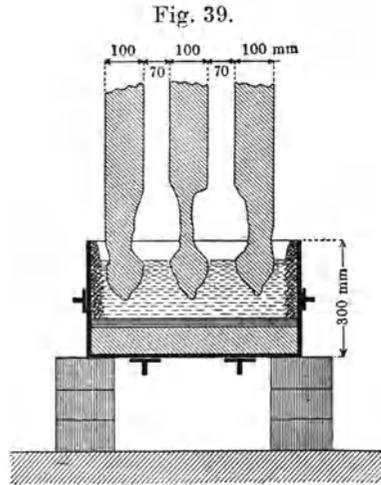
Ein zu großer Abstand der Anoden ist nicht minder schädlich, weil die durch Ausstrahlung entstehenden Wärmeverluste sehr leicht zum „Einfrieren“ der Bäder führen können. Zweckmäßig beträgt die Distanz 15 cm.

Höhe des Bades im Verhältnis zum Elektrolyten.

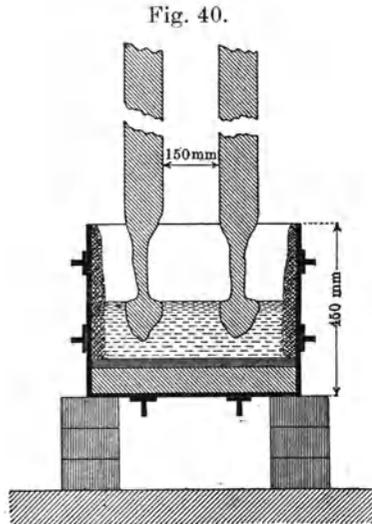
Die Höhe des Bades soll etwa 30 bis 40 cm betragen. Der Elektrolyt wird darin bis auf 5 bis 10 cm unter dem Rande aufgefüllt.

Ist die angegebene Höhe überschritten, der Elektrolyt aber wie im normalen Bade nicht über etwa 15 cm hoch, so wird die über diesem befindliche Luftschicht infolge der Wärmeausstrahlung zu heiß, so daß auch hier ein Verbrennen der Kohlen an der Luft eintritt, ähnlich wie es bei zu geringem Abstand der Anoden unter sich der Fall ist. Das Bild dieses Abbrennens ist allerdings von dem früher erwähnten etwas verschieden (Fig. 40).

Es bildet sich allmählich ein dünner Schaft, an dem die Anodenenden, die weniger rasch angegriffen werden, hängen. Je



Die Anoden stehen zu eng.

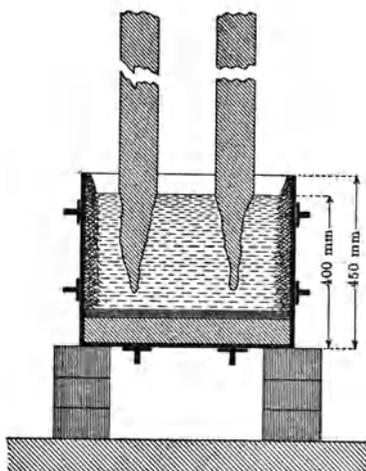


Der Badrand ist zu hoch.

dünnere nun dieser Schaft wird, um so größer wird der dem Stromdurchgang gebotene Widerstand, wodurch die Verbrennung nur noch mehr beschleunigt wird. Um wieder, wenigstens auf kurze Zeit, zu normalen Verhältnissen zu gelangen, müssen dann diese Schäfte von Zeit zu Zeit abgeschlagen werden, was große Kohlenverluste verursacht.

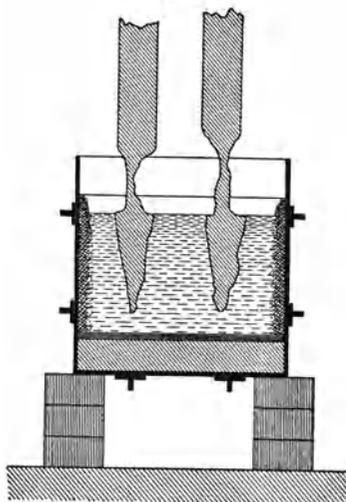
Ist das Bad zu hoch und wird die Schmelze, um die eben erwähnten Verluste zu vermeiden, bis auf 5 oder 10 cm unter den Badrand aufgefüllt, so müssen die Elektroden tief in die Schmelze eingesenkt werden. Dadurch bilden sich lange kegelförmige Zu-

Fig. 41.



Die Anoden tauchen zu tief in das Bad ein.

Fig. 42.



Die Schmelze ist zu tief und der Badrand zu hoch.

spitzungen, und es läßt sich auf die Dauer nicht arbeiten (Fig. 41), da diese abgeschlagen werden müssen. Ist das Bad zu hoch, so daß sein Rand weit über die Schmelzoberfläche hervorsteht, und begeht man außerdem den Fehler, eine tiefe Schmelze anzuwenden, so vergrößern sich die Kohlenverluste noch mehr (Fig. 42).

Messen der Badtemperatur.

Die Wichtigkeit der Einhaltung einer bestimmten Badtemperatur bei der Aluminiumdarstellung ist schon an anderer Stelle (S. 115 u. 116) nachdrücklich betont worden. Der Elektrolyt soll nur Kirschrotglut haben und keinesfalls weißglühend werden. Ein geübter Arbeiter wird schon hiernach den richtigen Zustand des von ihm beaufsichtigten Bades beurteilen können. Regelmäßige Messungen der Badtemperatur finden daher nicht statt. Soll aber eine genaue

Temperaturbestimmung erfolgen, so geschieht es am besten mit dem elektrischen Pyrometer nach Holborn und Wien (Fig. 43 und 44).

Die Konstruktion dieses Apparates beruht darauf, daß beim Erhitzen der Lötstelle zweier verschiedener Metalle diese den Sitz einer elektromotorischen Kraft bildet, deren Größe proportional der Temperaturerhöhung wächst. Nach den genannten Er-

findern sind Platin-Platinrhodiumdrähte zusammengelötet und bilden so ein Thermo-element. Die hierzu verwendeten Drähte haben einen Durchmesser von 0,6 mm und sind unter Ausschluß fremder Metalle unmittelbar miteinander verschweißt. Diese Thermo-elemente liefert die Firma E. W. Heraeus in Hanau, gleichzeitig mit einem Prüfschein der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, der die erfolgte Eichung nach einem Normalinstrument bezeugt.

Ein von d'Arsonval hergestelltes Galvanometer dient zur Messung der durch Temperatur-

erhöhung hervorgerufenen Thermoströme. Dasselbe besitzt ein Meßbereich von 300° bis 1600° C und ist derartig eingerichtet, daß ein Zeiger auf zwei Skalen spielt, von denen die eine die elektromotorische Kraft in Volt anzeigt, während auf der zweiten Skala die Temperaturgrade abgelesen werden. Nach den Angaben des Prüfungsscheines muß eventuell eine Korrektur der direkten Ablesung beigelegt werden.

Bei Verwendung dieses Apparates zum Messen der Badtemperatur darf das Element sich nicht, wie es gewöhnlich der Fall ist, in einer Schutzröhre aus Porzellan befinden, weil letztere durch geschmolzene

Fig. 43.

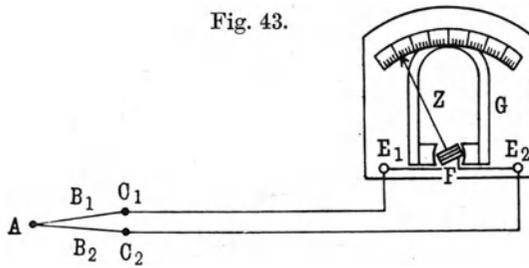
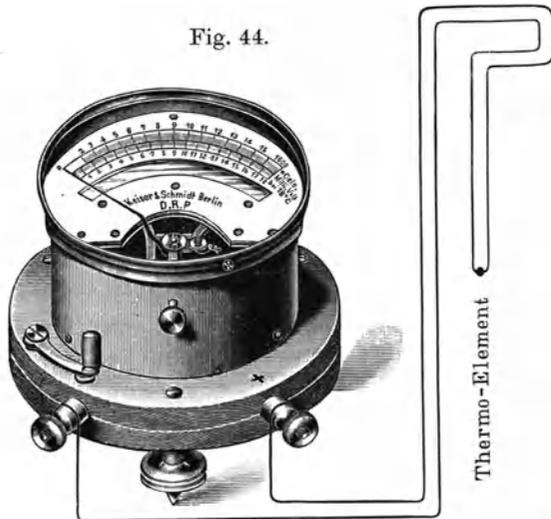


Fig. 44.



Messung der Badtemperatur durch elektrische Pyrometer.

Fluoride angegriffen wird. Am besten senkt man das Element direkt ohne jeden Schutz so lange in die Schmelze ein, bis der Ausschlag auf der Galvanometerskala konstant geworden ist.

Es sei noch auf folgende Vorsichtsmaßregeln beim Gebrauch aufmerksam gemacht¹⁾.

1. Der äußere Widerstand der Zuleitungsdrähte des Thermoelements zum Galvanometer darf ein Ohm nicht wesentlich übersteigen.

2. Die Verbindungsstellen des Platin-Platiniridiums mit der Zuleitung zum Galvanometer dürfen nicht erheblich wärmer als Zimmertemperatur werden.

3. Das Galvanometer bedarf einer festen Aufstellung, und zwar muß der Aufstellungsort so weit vom Ofen entfernt sein, daß durch magnetische Streuung von den Badstromzuleitungsschienen keine Beeinflussung des Instruments möglich ist.

4. Bei der Aufstellung muß das Instrument genau in horizontale Lage gebracht werden.

Hintereinanderschaltung von Bädern.

Im modernen Großbetrieb dienen stets Tausende von Pferdekraften der Darstellung von Aluminium. Hunderte von Bädern sind gleichzeitig im Gange zu halten. So geht durch eine einzige Badanlage eines deutschen Großwerkes ein Strom von 14 000 Amp. Als zweckmäßige Generatorspannung gelten heute allgemein 220 Volt. Man kann nicht höher gehen, da sonst bei etwaigen Erdschlüssen der am Bade beschäftigte Arbeiter gefährdet würde, obwohl eine höhere Spannung betriebstechnische Vorteile bringen würde, indem Ansprüche an die größere oder geringere Leistungsfähigkeit der Generatoren bei Störungen an einzelnen Bädern dann nicht so ins Gewicht fallen würden.

Da nun das einzelne Bad weit weniger als 220 Volt verbraucht, so ist eine Hintereinanderschaltung mehrerer Bäder eine unbedingte Notwendigkeit.

Das Arbeiten in Hintereinanderschaltung bietet nun aber Schwierigkeiten, die sich beim Arbeiten am einzelnen Bade nicht zeigen. Die Maschinen verlangen konstante Beanspruchung, während der Widerstand der Bäder für den Stromdurchgang oft schwankt, infolge der nicht immer gleich zu haltenden Zusammensetzung und Temperatur des Elektrolyten. Mit dieser veränderlichen Badspannung geht eine Änderung der Stromstärke Hand in Hand. Sinkt diese auf ein Minimum, so läuft man Gefahr, daß der Badinhalt erstarrt; steigt sie zu hoch, so steigt auch die Temperatur über die vorgeschriebene Grenze.

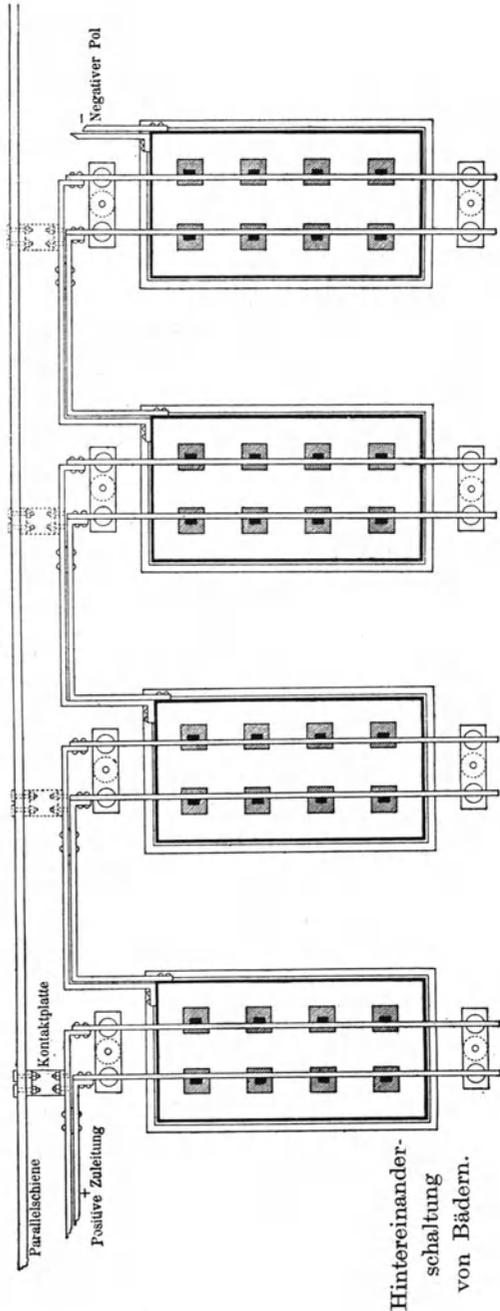
¹⁾ W. C. Heraeus, Zeitschr. f. angew. Chem. 1895.

Man mache sich zur Regel, nach der Normalstrommenge einzuregulieren und die Elektrodenabstände stets entsprechend zu ändern, um diese zu erhalten. Für den Fall, daß Bäder außer Betrieb gesetzt werden müssen, sei es wegen notwendiger Reparaturen oder weil der Elektrolyt unbrauchbar geworden ist, müssen in die Bäderreihe Reservebäder eingeschaltet werden. Die Stromschaltung ist so anzuordnen, daß jederzeit Ausschaltung oder Einschaltung von Bädern vorgenommen werden kann, ohne daß der Betrieb eine Störung erleidet (vgl. nebenstehendes Schaltungsschema, Fig. 45).

Untersuchung der Badschmelzen.

Die Zusammensetzung der Badschmelze ist für die Aufrechterhaltung eines Dauerbetriebes von großer Wichtigkeit. Leider ändert sich die Zusammensetzung vielfach so rasch, daß eine Verbesserung derselben durch Zusätze, die sich aus einer chemischen Analyse ergeben würden, nicht möglich ist. Die einzelnen Zusätze müssen vielmehr nach dem Aussehen der Schmelze und mit Hilfe der schon erwähnten

Fig. 45.



Kontrollämpchen erfolgen. Es können daher am Bade nur geübte Arbeiter verwendet werden.

Soll dennoch gelegentlich eine analytische Untersuchung erfolgen, so wird sie sich im wesentlichen auf den Fluor-, Tonerde- und Natriumgehalt erstrecken.

Zur Ausführung der Aluminium- und Natriumbestimmung wird etwa 1 g der fein gepulverten Schmelze mit Schwefelsäure in einer Platinschale zweimal abgeraucht und der Rückstand mit warmem Wasser gründlich ausgekocht. Zum Ausfällen der in Lösung gegangenen Tonerde versetzt man mit Ammonchlorid und Ammoniak und filtriert. Der Rückstand ergibt nach dem Glühen die Tonerde.

Das Filtrat wird in der Platinschale eingedampft, die Ammonsalze vertrieben und der Rückstand nach nochmaligem Versetzen mit Schwefelsäure und deren vorsichtigem Abrauchen (mit kleiner Flamme pfenniggroße Stücke des Tiegels bis auf Rotglut erhitzen!) als Natriumsulfat gewogen.

Die Fluorbestimmung erfolgt zweckmäßig im Oettelschen Fluorometer oder nach Penfield-Treadwell-Koch (s. S. 82 u. 83).

Aufarbeitung unbrauchbar gewordener Schmelzen.

Während des Badbetriebes kommt es vor, daß Schmelzen infolge unrichtiger Zusammensetzung so dickflüssig werden, daß das Bad ausgeschaltet werden muß. Das „Einfrieren“ bedeutet immer eine empfindliche Störung des Betriebes und Verluste an Arbeit und Material.

Die Ursache der eintretenden Dickflüssigkeit liegt nun entweder darin, daß dem Kryolith zuviel Tonerde zugesetzt worden ist oder daß das im Kryolith enthaltene Aluminiumfluorid infolge von zu hoher Stromdichte oder wegen Mangels an Tonerde mit zersetzt wird.

Bei einiger Übung läßt sich die richtige Zusammensetzung in den meisten Fällen durch einen Zusatz von Kochsalz leicht wieder erreichen. Bei einem Zuviel an Tonerde muß abgewartet werden, bis der Überschuß durch Elektrolyse wieder aufgebraucht wurde. Bei einem Mangel an Fluorgehalt muß Aluminiumfluorid (oder eventuell Calciumfluorid) zugesetzt werden. Läßt sich das Bad nicht schnell genug regenerieren, so wird man möglichst rasch den Inhalt ausschöpfen, damit er nicht etwa im Ofen selbst erstarrt. Die unregelmäßigen Stücke werden dann in einer Kugelmühle zu feinem Pulver gemahlen, das in die Destillierblase für Flußsäure kommt und dort mit der notwendigen Menge Schwefelsäure versetzt wird. Die gebildete Flußsäure gewinnt man durch Destillation und darauf folgende Kondensation.

Das durch Auslaugen erhaltene Natriumsulfat nebst Aluminiumsulfat gibt man verloren oder verwendet man zur Herstellung

künstlichen Kryoliths, indem man die entsprechenden Mengen saures Aluminiumfluorid und Flußsäure zugibt. In genügend verdünnter Lösung fällt der Kryolith aus, während die daneben entstehende verdünnte Schwefelsäure dekantiert werden kann.

Vielfach verzichtet man übrigens auf die umständliche chemische Umsetzung. Man schöpft dann den mit Kohletrümmern und Aluminiumcarbid durchsetzten Schaum nebst der dick gewordenen Schmelze aus und erhitzt die unregelmäßigen Brocken so, daß aller Kohlenstoff verbrennt. Die zurückbleibende Masse wird gepulvert und, mit frischem Material gemischt, erneut den Badfüllungen zugesetzt. Das eben genannte Aluminiumcarbid bildet sich hauptsächlich am Badboden. Es erhöht¹⁾ den Widerstand und muß daher von Zeit zu Zeit abgekratzt und aus dem Bade entfernt werden. Seine Bildung ist die Hauptursache dafür, daß auch der Kohlenboden sich beträchtlich abnutzt.

Betriebsergebnisse.

Nachstehend seien die Ergebnisse wiedergegeben, wie sie nach Winteler in einem Bade mittlerer Größe erhalten wurden. Dasselbe verbrauchte durchschnittlich 3160 Amp. bei 8,5 Volt Spannung an den Klemmen des Bades.

Es wurden vorerst 100 kg Kryolith, gemischt mit 10 kg Tonerde, unter Anwendung von Widerstandserhitzung eingeschmolzen. Die Schmelze dauerte unter einem Aufwand von 203 kW-Stunden 5 Stunden. Danach wurden die Heizwiderstände entfernt und die Elektrolyse begann.

Während dieser wurden folgende Zusätze gemacht:

	Kryolith	Tonerde
Innerhalb der nächsten 24 Stunden . . .	40 kg	34 kg
„ „ weiteren 24 „ . . .	40 „	34 „
„ „ „ 24 „ . . .	20 „	22 „
Zusammen innerhalb 72 Stunden . . .	100 kg	90 kg

Nach 72 Stunden wurden 26 kg Aluminium ausgeschöpft und nach 86 Stunden weitere 32 kg Aluminium usw.

Nach 10 Tagen 10 Stunden betrug der Materialverbrauch insgesamt 290 kg Kryolith, 268 kg Tonerde und 64 kg Aluminiumfluorid. Erhalten waren bis dahin 189,8 kg Aluminium. Der bisherige Energieverbrauch betrug 6716 kW-Stunden.

Nun fällt nach dem Gesetz von Faraday 1 Amp. in 1 Sekunde 0,03541 mg Aluminium aus, das sind bei Annahme der notwendigen

¹⁾ Die Beobachtung Wintelers vergleiche mit D. R.-P. 334 473, S. 86. Kathodisch Widerstandserhöhung — anodisch Widerstands-erniedrigung.

Badspannung von 8,5 Volt (die Zersetzungsspannung der Tonerde beträgt nur 4,3 Volt!) für

$$1 \text{ kW-Stunde} = \frac{0,093 \ 541 \text{ mg} \cdot 1000 \cdot 3600}{8,5} = 0,0397 \text{ kg.}$$

Folglich $6716 \cdot 0,09397 = 266,5 \text{ kg Aluminium.}$

Praktisch wurden also 71,2 Proz. der Theorie abgeschieden.

Nach einem schon früher erwähnten Bericht von Flusin (Zeitschr. f. Elektrochem. 1912) soll der Wirkungsgrad infolge unvermeidlicher Fabrikationsstörungen im Durchschnitt 60 bis 65 Proz. betragen. Lodin, der ähnliche Stromausbeuten angibt (Annales des Mines 1909), nennt als schädliche Ursachen Stromschwankungen, Energieverluste beim Einschalten neuer Bäder, öfteres Dickwerden des Elektrolyten usw.

Bei den größten Bädern in den gut geleiteten Betrieben der Großindustrie soll man neuerdings (wie z. B. im Lautawerk) mit etwa 25 kW-Stunden 1 kg Aluminium gewinnen können.

Unter der Annahme, daß in den Bädern des modernen Großbetriebes die Spannung an den Klemmen der Bäder etwa 8 Volt beträgt, errechnet sich eine Ausbeute von 95 Proz. der Theorie.

Umschmelzen des Aluminiums.

Das unmittelbar aus dem Ofen geschöpfte Aluminium ist noch kein Handelsprodukt. Das zu verschiedenen Zeiten gewonnene Metall ist von verschiedener Reinheit. Besonders geringwertig sind die ersten Ergebnisse aus frisch in Betrieb genommenen Bädern. Erst wenn die Kohlenwandungen der Öfen durch den Betrieb ausgelaugt sind, wird die Qualität des abgeschiedenen Metalles besser. Auch muß die Badschmelze, die sich beim Ausschöpfen der Badtröge dem Schmelzgut beimengt, durch Umschmelzen beseitigt werden.

Zu dem angegebenen Zwecke eignet sich in vorzüglicher Weise der von der Firma Basse & Selve in Altena (Westfalen) nach dem System Rousseau, D. R.-P. 94227, gebaute Kippofen, dessen neueste Konstruktion (P. 179311) im folgenden kurz beschrieben wird. Dieser Tiegelschmelzofen hat eine kontinuierliche Windzufuhr, d. h. die Gebläseluftzufuhr wird auch im gehobenen Zustand nicht unterbrochen. Durch diese Anordnung tritt kein Erkalten des Metalles während des Ausgießens ein. Der zuletzt ausgegossene Tropfen flüssigen Metalles hat genau die gleiche Temperatur wie der zuerst ausgegossene. Fig. 46 zeigt einen Querschnitt durch den eigentlichen Ofen.

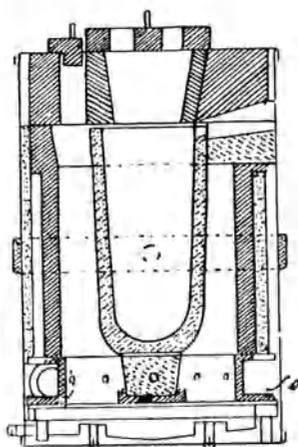
Der Ofen besteht aus einem zylindrischen Eisenblechmantel, in dessen unterem Teile auf Winkeln ein eiserner Windring ruht, dessen oberer Rand Aussparungen für die Windzuführung hat. Auf diesen

Windring wird das feuerfeste Herdfutter montiert, und zwar so, daß die in dem Futter befindlichen Kanäle genau mit den Ausparungen korrespondieren. Im Boden des Eisenblechmantels ist eine Traverse angeordnet, auf der der Aschenkasten befestigt ist, der gleichzeitig den Bodenabschluß des Ofens bildet. Auf der Traverse steht ein Teller aus Stahlguß, in den man einen feuerfesten Untersatz aus Graphit einsetzt und auf den alsdann der Tiegel zu stehen kommt.

Der Tiegel wird an seinem oberen Rande durch verschiedene feuerfeste Stützen gehalten, deren eine gleichzeitig den Ausfluß des flüssigen Metalles vermittelt. Der Raum zwischen Tiegel und Herdfutter ist für die Aufnahme von Koks¹⁾ bestimmt. Er ist verhältnismäßig schmal gehalten, so daß das Brennmaterial nur in geringen Mengen zur Aufnahme gelangen kann, wodurch im Verein mit der vollständigen Verbrennung und der günstigen Ausnutzung der Hitze erreicht wird, daß in bezug auf den Koksverbrauch gegenüber allen seither bekannten Schmelzmethoden wesentliche Ersparnisse erzielt werden.

Der obere Teil des Ofens wird durch einen dicken feuerfesten Deckel abgeschlossen, und zwar ruht derselbe auf dem Herdfutter. In dem Deckel sind die Löcher für die Aufnahme des Brennmaterials im Kreise angeordnet, und in der mittleren größeren Öffnung in diesem Deckel wird ein Trichter aus feuerfestem Material angebracht, durch den das Schmelzgut eingeführt wird. Dieser Trichter berührt den Tiegel nicht. Es verbleibt vielmehr ein kleiner Zwischenraum, so daß die entweichenden heißen Verbrennungsgase gezwungen sind, durch diesen Trichter ihren Weg zu nehmen und das etwa in ihm befindliche Metall auf annähernd Schmelztemperatur vorzuwärmen. Dadurch, daß diese Verbrennungsgase ihren Weg über den Tiegel nehmen müssen, wird ferner die atmosphärische Luft von dem Tiegelinhalt abgehalten und eine Oxydation des geschmolzenen Metalles in wirksamer Weise verhindert.

Fig. 46.



Querschnitt durch den Schmelzkippen.

¹⁾ Neuerdings sind auch Aluminiumöfen mit Generatorgasheizung konstruiert worden (Firma Ing. Franz Meiser, Komm.-Ges., Nürnberg). Eine rationelle Arbeitsweise gestatten auch die neuesten elektrischen Schmelzöfen, die bis zu einem Fassungsvermögen von 1 Tonne flüssigem Metall gebaut werden.

Durch die kontinuierlich wirkende Gebläseluft wird eine große Haltbarkeit der Tiegel erzielt, da diese keinen Wärmeschwankungen und somit keinen wechselnden Spannungen unterworfen sind.

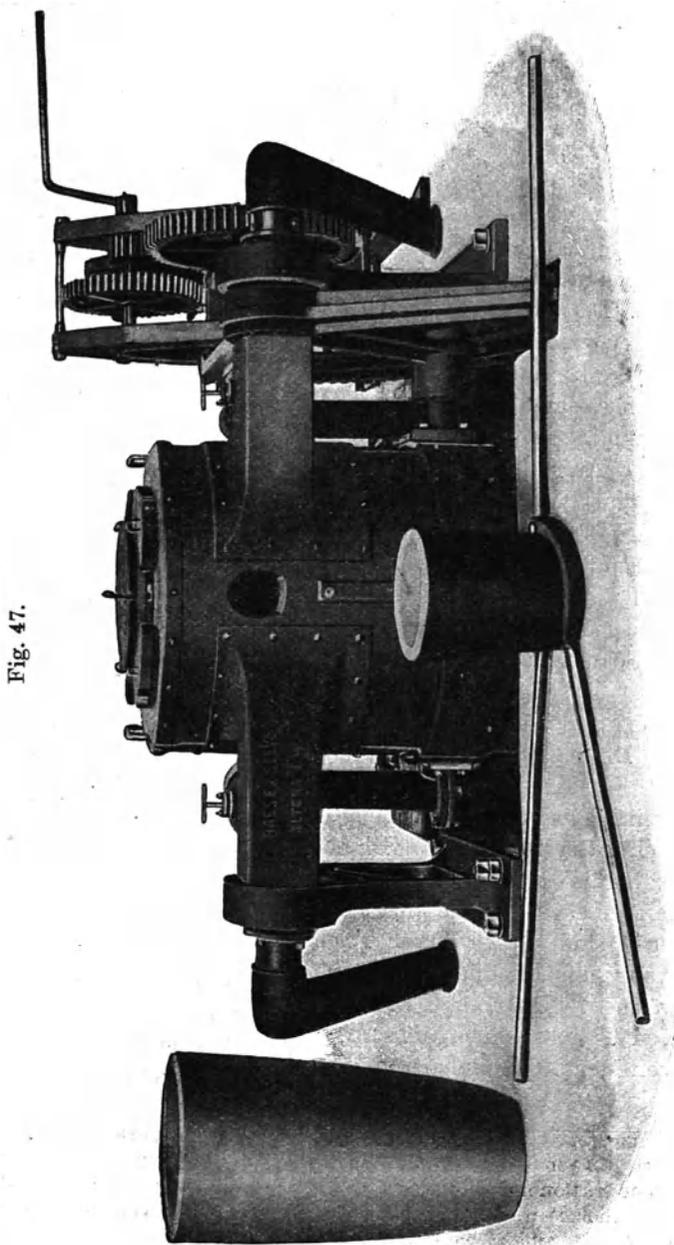


Fig. 47.

Aluminiumschmelzofen mit Koksheizung, System Rousseau.

Ein weiterer Vorteil dieser Luftzufuhr besteht darin, daß der Gebläsewind in den aufsteigenden wie auch in den nach unten führenden Rohren, besonders in dem Windring und den Kanälen des Herdfutters, bedeutend vorgewärmt wird und somit bei hoher Temperatur in den Verbrennungsraum eintritt. Hierdurch wird eine vollkommene Verbrennung und damit eine intensivere Wärmeentwicklung erzielt, sowie verhindert, daß nicht genügend vorgewärmte Luft mit dem Tiegel in Berührung kommt.

Der erforderliche Winddruck soll nicht höher sein als 2 bis 5 cm Wassersäule. Der mäßige Kraftverbrauch bedingt geringe Anschaffungskosten des benötigten Gebläses. Besonders hervorzuheben möchte noch werden, daß der Ofen keinen Rost besitzt, sondern unten vollständig geschlossen ist. Die Schlacke bleibt im Ofen und wird erst nach sechs bis acht Schmelzungen entfernt, ohne daß der Ofen zu diesem Zwecke erkalten muß. Bei nicht ununterbrochenem Betrieb, wenn z. B. nachts nicht geschmolzen wird, bleibt der Ofen abends nach dem Abschlacken, mit einer geringen Menge Koks beschickt, ohne Winddruck stehen. Am anderen Morgen wird neuer Koks aufgegeben, das Gebläse angestellt und der unterbrochene Schmelzprozeß wieder aufgenommen.

Der Tiegelschmelzofen, der übrigens in der gesamten Gießereipraxis Verwendung findet, wird in sechs Größen für 50 bis zu 450 kg Schmelzgut gebaut.

Beim Umschmelzen des Aluminiums muß darauf acht gegeben werden, daß möglichst silicium- und eisenfreie Graphittiegel benutzt werden und jede Überhitzung des geschmolzenen Metalles unterbleibt.

Wird die erste Bedingung nicht eingehalten, so nimmt das Aluminium Silicium und Eisen auf. Wird es überhitzt, so oxydiert es sich, so daß größere Verluste entstehen. Denn ist die Oxydation einmal eingetreten, so mischt sich das Oxyd wegen der geringen spezifischen Gewichts-differenz dem Schmelzgut bei und läßt bei größerem Gehalt an Oxyd eine dicke, breiartige Masse entstehen, die sich nicht mehr gießen läßt.

Wird dagegen bei Temperaturen umgeschmolzen, die unwesentlich über dem Schmelzpunkt des Aluminiums liegen, so betragen die Verluste nicht mehr als 3 Proz. Alle Verunreinigungen — Kohlenstückchen, Elektrolyt usw. — steigen an die Oberfläche und werden abgerahmt.

Das blanke Metall wird in eiserne Formen, die Kokillen, gegossen, in denen es infolge seiner hohen spezifischen Wärme verhältnismäßig langsam erstarrt. Immerhin ist die Abkühlung doch so rasch, daß sich ein genügend feiner Korngrad ausbildet,

der für die Weiterbearbeitung vorteilhaft ist. Das Metall ist in geschmolzenem Zustand äußerst dünnflüssig. Es fließt durch die feinsten Haarrisse. Gußformen füllt es mit vollkommener Schärfe aus, dagegen ist sein „Schwinden“ im Moment des Erstarrens so groß, daß darauf z. B. beim Gießen besondere Rücksicht durch Anbringen „verlorener Gießköpfe“ genommen werden muß. Das Schwinden beträgt 1,8 Proz.

Mit dem Vergießen des umgeschmolzenen Rohaluminiums in die handelsüblichen Formen der Masseln, Walz- und Drahtbarren und der gekerbten Blöckchen ist die Tätigkeit der Aluminiumhütte beendet. Es wird nun zu weiterer Verarbeitung den Walz- und Drahtziehwerken und weiterhin den verschiedenen Zweigen der Fertigungsindustrie zugeführt.

Der Gütegrad des in den Handel gebrachten Reinaluminiums ist von größter Bedeutung für seine Weiterverarbeitung. Wie in anderen Zweigen der Metallindustrie, hat man neuerdings auch für dieses verhältnismäßig junge Industriemetall eine Normierung vorgenommen. Die hierunter fallenden Sorten bilden das Ergebnis einer Verständigung zwischen Vertretern der Wissenschaft, der erzeugenden (Aluminiumhütten), der weiterverarbeitenden (Walz- und Drahtziehwerke) und der verbrauchenden (Geschirrfabrikation, elektrische Industrie) Aluminiumindustrie.

Der Normungsentwurf für Reinaluminium enthält folgende wichtige Angaben: Als Reinaluminium gilt das Original-Hüttenaluminium, d. h. ein aus den Rohstoffen hüttenmännisch erzeugtes Aluminium, das nur auf der erzeugenden Hütte in handelsübliche Formen gegossen wurde und den Stempel der Hütte trägt, und jedes andere Reinaluminium, das den angegebenen Bedingungen entspricht.

Erste Qualität ist ein Reinaluminium von 99,5 Proz. Din. (Deutsche Ind.-Norm). Kurzzeichen: Al 99,5 Proz., das einzuschlagen oder einzugießen ist. Zulässige Verunreinigungen: $\text{Fe} + \text{Si} + \text{Cu} + \text{Zn} \leq 0,5$ Proz., davon $\text{Cu} + \text{Zn} < 0,05$ Proz., sonstige Verunreinigungen nur in handelsüblichen Grenzen.

Zweite Qualität ist ein Reinaluminium von 99 Proz. Kurzzeichen: Al 99 Proz. Gesamtverunreinigung ≤ 1 Proz., davon $\text{Cu} + \text{Zn} < 0,10$ Proz., sonstige Verunreinigungen außer $\text{Fe} + \text{Si}$ nur in handelsüblichen Grenzen.

Dritte Qualität ist Reinaluminium von 98 bis 99 Proz. Kurzzeichen: Al 98 bis 99 Proz. Gesamtverunreinigung ≤ 2 Proz., davon $\text{Fe} < 1$ Proz. und $\text{Cu} + \text{Zn} \leq 0,10$ Proz., weitere Verunreinigungen außer Si nur in handelsüblichen Grenzen.

Beschaffenheit des Handelsaluminiums und seine Reinigung.

Die Verunreinigungen des Handelsaluminiums sind zum Teil zufälliger, gelegentlicher Natur, zum Teil treten sie regelmäßig auf. Beide Arten sind bedingt durch den Reinheitsgrad der Ausgangsmaterialien und durch den Gang der Elektrolyse. Abgesehen von den mehr zufälligen Beimengungen, deren Auftreten von Fall zu Fall qualitativ festgestellt werden mag, interessiert bei den regelmäßigen Verunreinigungen auch die Art ihres Auftretens im Metall, z. B. ob der Kohlenstoff als Graphit oder Carbid, ob das Silicium metallisch, als Oxyd oder Silicid vorhanden ist und ob der Stickstoff frei oder als Nitrid auftritt. Die Aluminiumanalyse ist noch nicht so entwickelt, um derartige Fragen zweifelsfrei beantworten zu können.

Für die als „sonstige zulässige Verunreinigungen“ bezeichneten Verunreinigungen, die nur in „Spuren“ im Reinaluminium vorkommen pflegen, wie Tonerde, Kohlenstoff und Stickstoff sind exakte analytische Methoden zurzeit noch nicht bekannt. Doch steht zu erwarten, daß der ins Leben gerufene „Chemiker-Fachauschuß“ Bestimmungsverfahren von ausreichender Genauigkeit ausarbeiten wird, zumal schon einige erfolgversprechende Arbeitsweisen in Vorschlag gebracht worden sind.

Auch die beste Qualität des hüttenmännisch gewonnenen Aluminiums, die nur mit den reinsten Ausgangsmaterialien zu erhalten ist, kommt über 99,6 Proz. nicht hinaus. Eine noch weitergehende Reinigung liegt aber durchaus im Interesse von Wissenschaft und Technik. Schwer zu entfernen sind vor allem die letzten Spuren von Eisen und Silicium, und neu hinzukommen können Kohlenstoff aus dem Boden des Schmelzofens bei der Elektrolyse und Stickstoff und Kohlenwasserstoffe durch den Schmelzprozeß beim Umschmelzen. Die Aufnahme von Gasen zu verhindern, hat man das Umschmelzen im Vakuum empfohlen oder kurz vor dem Umgießen 5 g Kali- oder Natronsalpeter zu 50 kg Aluminium als Reinigungsmittel angewendet, das, in feuchtes Papier verpackt, bis auf den Boden des Schmelzgefäßes gedrückt, unter lebhafter Reaktion alle Gase austreiben soll.

Nach Patent 96233 sollen statt der die Schmelzgefäße angreifenden Alkalinitrate andere energische Oxydationsmittel bessere Dienste leisten. So werden die Bichromate der Alkalimetalle, des Ammoniums, des Calciums, Magnesiums, Aluminiums empfohlen. Nach beendeter Reaktion kann dann noch mit Vorteil eines der bekannten Flußmittel, wie Chlorid, Fluorid, chromsaures Kali und dergleichen, angewendet werden, um die ausgestoßenen Schlacken zum Zusammenfließen zu bringen. Ein eigentliches Reinaluminium

kann durch dieses Verfahren freilich nicht erhalten werden, wohl aber eine veredelte, technisch besser brauchbare Legierung als das ursprüngliche Rohaluminium. Man kann auch die Bichromate des Mangans, Nickels, Kupfers, Zinks, Molybdäns verwenden, wenn das mit Hilfe dieser Salze gereinigte Aluminium zur Herstellung von mangan-, nickel-, kupfer-, zink- oder molybdänhaltigen Legierungen dienen soll. An Stelle der Bichromate können auch andere, durch Erhitzen Sauerstoff abspaltende Verbindungen verwendet werden, wie Permanganate, Chlorate und Nitrate, mit Ausnahme der bisher verwendeten Nitrate der Alkalien und des Ammoniums, da sie mit der Entstehung von Natron, Kali und Ammoniak schädliche, die Eigenschaften des Metalles verschlechternde Zersetzungsprodukte liefern.

Ein ähnliches Verfahren, durch Oxydation der Verunreinigungen deren Schlackenbildung herbeizuführen und somit die Reinigung des Rohmetalles, jedoch ohne Legierungsbildung, zu erreichen, beschreibt D. R.-P. 283075, 1912, Legget, New York. Nach ihm sollen Kaliumchlorat und Schwefelsäure in einem hitze- und säurebeständigen Gefäß unter kräftigem Umrühren gemeinsam geschmolzen werden. Das sich zersetzende Chlorat soll mit den Verunreinigungen Chloride und Oxyde bilden, das Kalium wird von der Schwefelsäure aufgenommen. Bei längerem ruhigen Stehen sollen sich darauf alle Verunreinigungen als Schlacken an der Oberfläche sammeln.

Ein weiteres Verfahren der Reinigung von Aluminium ist von Strasser angegeben worden, D. R.-P. 348007, 1920. Danach wird eine Aluminiumpatrone mit phosphorsaurem Kali in die flüssige, etwa 800° C heiße Schmelze gedrückt, wo sie sich sofort auflöst und eine beträchtliche Steigerung der Temperatur bewirkt. Beträgt diese etwa 1100° C, so gibt man eine zweite Patrone mit einem Metall aus der Gruppe der alkalischen Erden (Barium, Calcium, Strontium) zu der nunmehr ganz dünnflüssigen Schmelze, durch die die Reinigung in den zwei thermisch und zeitlich getrennten Stufen unter erheblicher Steigerung der mechanischen Eigenschaften und ohne Minderung der elektrischen Leitfähigkeit weitgehend gefördert werden kann. Dabei sind die Zusatzmetalle so vollkommen mit in die Schlacke gewandert, daß ihr analytischer Nachweis im Aluminium nicht möglich ist.

Eine gründliche Reinigung des Aluminiums wird nach D. R.-P. 266423, 1912, auch erzielt, wenn man Magnesium in Schichtung mit Phosphorzinn im Schmelzfluß derart wirken läßt, daß nur das untere Ende der Schicht am Boden des Bades mit dem Schmelzgut in Berührung steht. Für zahntechnische Zwecke soll man zweckmäßig das Phosphorzinn durch Natrium ersetzen können.

Beim Studium des Einflusses der seltenen Erdmetalle, besonders der Ceritmetalle (Cer, Lanthan, Praseodym, Neodym, Samarium) auf das Aluminium zeigte es sich, daß Cerzusätze von weniger als 0,2 Proz. die mechanischen und chemischen Eigenschaften des Aluminiums aufs günstigste beeinflussen, indem das Cer nicht nur die gasförmigen Einschlüsse, sondern auch das Silicium aus dem Aluminium austreibt. Im D. R.-P. 246484, 1911, ist diese Beobachtung von Borchers und seinem Schüler Barth technisch nutzbar gemacht worden. Das Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, daß man geringe Mengen wasserfreie Ceritmetallfluoride (2 Proz. zu 98 Proz. Aluminiumoxyd) während der Schmelzelektrolyse in das Bad einträgt. In fertiges Rohaluminium kann man nach Erhitzung auf etwa 1000°C 0,05 bis 0,2 Proz. Cermetall als Fluorid zuführen. Das bis zu 0,2 Proz. cerhaltige Aluminium soll bessere Festigkeits- und Dehnungszahlen zeigen als das reinste Aluminium des Handels. Auch soll es scharfe Gußstücke ergeben. Dabei braucht die Reinigungsmasse selbst nicht ein Gemisch reines Cersalz zu sein. Man kann vielmehr die bei der Gewinnung von Thorium aus Monazit und Cerit abfallenden Ceritmetalle verwenden. Der Cergehalt darf nach Borchers-Barth 0,2 Proz. keinesfalls übersteigen. Vielleicht erklärt sich hieraus, daß andere Forscher gleich gute Ergebnisse nicht zu erzielen vermochten und deshalb den praktischen Wert des Verfahrens überhaupt bezweifeln (vgl. Gillet und Schnee).

Eine Reihe Verfahren versucht die Reinigung des Aluminiums auf dem Wege der Schmelzflußelektrolyse, freilich nach den bisherigen Erfahrungen anscheinend ohne durchschlagenden Erfolg. So gehört das Patent 133909, 1901, der Aluminium Reduktion Company Pittsburgh hierher. Nach ihm wird das unreine Rohaluminium als Anode in einen Elektrolyten getaucht, der neben schmelzflüssigem Aluminiumfluorid das Fluorid eines elektropositiveren Metalles als Aluminium enthält. Reinaluminium soll sich dabei an der Kathode abscheiden.

Auf ähnliche Weise sucht Betts, D. R.-P. 186182, 1906, zum Ziele zu gelangen. Danach muß das zu reinigende Rohaluminium, eventuell eine Aluminiumlegierung mit einem Schwermetall, als Elektrolyt spezifisch schwerer als Reinaluminium sein. Die Bodensubstanz ist Anode, die Kathode Aluminium. Danach soll das reine Metall aus sehr unreinem Material auch aus zusammengesetzten Aluminiumlegierungen usw. erhalten werden können.

Die chemischen, wie die elektrochemischen Methoden sind wohl mehr oder weniger imstande, die schädlichen Verunreinigungen, Eisen und Silicium, zu beseitigen und die technologischen Eigenschaften des Materials zu verbessern, sie vermögen aber nicht Reinaluminium im strengen Sinne des Wortes zu gewinnen. Diesem

Ziele strebt, wie es scheint, mit Erfolg das Patent der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt Nr. 326 160, 1919, zu, das die Reinigung von Aluminium mit Verunreinigungen unter 1 Proz. durchzuführen gestattet und dadurch gekennzeichnet ist, daß man das feste Metall langsam bis zur Schmelztemperatur erhitzt und die niedrig schmelzenden Legierungen der Verunreinigungen von den zurückbleibenden reineren Aluminiumkristallen abfiltriert. In einem senkrecht stehenden, mit Wasserstoff durchströmten, elektrisch beheizten Mantelrohr ist zu diesem Zwecke ein Trichterrohr aus Glas oder Steingut untergebracht, das sich oberhalb eines Eimerchens aus dem gleichen Material zur Aufnahme der aus dem Trichter abfließenden Metallteile befindet, wobei ein am Ende des Mantelrohres eingefügter Stab aus Tonmasse bei dem fraktionierten Schmelzen als Stempel zum Zusammendrücken der gereinigten Aluminiumkristalle dient. Es soll mit diesem Verfahren gelungen sein, das bisher beste Aluminium von 99,6 Proz. so weit zu reinigen, daß nur noch 0,05 Proz. Fremdstoffe im Aluminium enthalten waren. Nur dieses zunächst im Laboratoriumsbetrieb erprobte Reinigungsverfahren läßt die Gewinnung eines 100proz. Aluminiums erhoffen, während die chemischen und elektrochemischen Methoden eigentlich immer nur aluminiumreiche Legierungen erbringen können.

Wiedergewinnung des Aluminiums aus Abfällen der Fabrikation.

Eine Frage von besonderer wirtschaftlicher Bedeutung ist die der Wiedergewinnung des Aluminiums aus den Abfällen und Rückständen der Fabrikation, wie es als Blechschnitzel, als Dreh-, Bohr- und Frässpäne bei der mechanischen Verarbeitung, als Eingußtrichter und Hilfsansätze, sowie als Gekrätze und Schmelzrückstand im Tiegel beim Gießen von Reinaluminium und Aluminiumlegierungen in ganz erheblichem Maße entsteht. Es leuchtet ein, daß diese Aufgabe der Aluminiumreinigung infolge der Verunreinigung durch Formsand, Öl, Fremdmetalle, mineralischen und organischen Schmutz vielfach äußerst schwierig zu lösen ist. So empfiehlt es sich, die Abfälle von Rohaluminium und den verschiedenen Legierungen möglichst auseinander zu halten. Das Gekrätze wird vor der Raffinade zweckmäßigerweise gesiebt. Das Feingesiebte geht dann als „Staub“ in die chemischen Fabriken. Seine Verarbeitung auf regulinisches Metall lohnt nicht, da es zu sehr oxydiert ist. Es wird, falls Reinaluminiumgekrätze vorliegt, auf Aluminiumsalz verarbeitet, sofern die hohe Fracht und die Kosten für die Chemikalien die Nutzbarmachung dieser minderwertigsten Abfälle noch nutzbringend gestalten lassen. Den Abbrand und das Gekrätze,

die Oxyde, Carbide und Nitride des Aluminiums hat man mitsamt dem staubfein verteilten Aluminium auch erneut der Elektrolyse unterworfen. Aber auch dort, wo dieses Material nicht mit Eisen und Kieselsäure in unerwünscht hohem Maße versetzt ist, sind dem Verfahren Grenzen gesetzt. Ohne Zusatz von erheblichen Mengen Tonerde (bis zu 50 Proz.) gelingt die Zerlegung überhaupt nicht. Das im Elektrolyten fein verteilte Aluminium übt eine sehr starke Hitzewirkung aus. Die Carbide und Nitride dicken die Bad-schmelze so ein, daß der glatte Verlauf der Elektrolyse gefährdet ist. Erheblich mit Fremdmetallen durchsetzte Abfälle vermag man zurzeit überhaupt nicht wirtschaftlich zu verwerten. Es fehlt noch an Methoden zu ihrer Verarbeitung. Am einfachsten ist noch die Wiedergewinnung des Reinmetalles aus wenig verschmutzten Blechschnitzeln. Hier ist wohl noch das Puddelverfahren, wie es die Aluminiumindustrie Neuhausen schon vor Jahrzehnten beschrieb, im Gebrauch. Danach wird aus frischen Rohmasseln und groben Blehabfällen im geräumigen Tiegelofen (mindesten 50 kg) das Metall flüssig gemacht, so daß etwa ein Drittel des Tiegels angefüllt ist. In diese Schmelze wird nach und nach in vollen Schaufeln der Abfall eingebracht und mit der Schöpfkelle untergetaucht, bis alles geschmolzen ist. Als Flußmittel werden die Chloride der Alkalimetalle hinzugefügt. Dann wird kräftig gerührt, wobei die gelösten Oxydhäutchen und die sonstigen Verunreinigungen allmählich nach oben steigen. Man schöpft sie erst ab, wenn sie eine Schicht bilden, die 5 cm Dicke übersteigt. Das rasche Eintauchen, die Schaumdecke und die verhältnismäßig niedrige Schmelztemperatur sollen den Abbrand möglichst herunterdrücken. Gleichwohl beträgt der Schmelzverlust bei sauberen Blechen 8 Proz. und kann bei geringerem Material mit Leichtigkeit auf 20 Proz. steigen.

Eine höhere Ausbeute an Metall gibt das Flußspatverfahren (bis zu 95 Proz.). Bei diesem wird das zu reinigende Metall mit 20 bis 50 Proz. seines Gewichtes mit Flußspat und Kochsalz (Verhältnis 15 : 85) gemischt und im Graphittiegel auf mindestens 900°C erhitzt. Da kein Umrühren nötig ist, erfordert das Verfahren zwar weniger Arbeitslohn, dafür aber erhöhte Kosten für Brennstoff und Flußmittel.

Beide Methoden hat man zu verbessern gesucht. So ist ein neuerer Vorschlag im Patent 242347, 1910, von Weber gemacht worden. Sein Verfahren ist gekennzeichnet durch den Zusatz von Fluoriden der Schwermetalle oder von Gemischen der Alkalifluoride und Verbindungen der Schwermetalle zum Schmelzgut (z. B. Zinkchlorid mit Natriumfluorid). Besonders geeignet sind die Fluoride des Zinks, Kupfers und Nickels. Sie vermögen wegen ihres höheren spezifischen Gewichts nicht nur das Schmelzgut zu durchdringen

und die Oxydhäutchen zu lösen, sondern werden zugleich reduziert. Es bildet sich Aluminiumfluorid, das rasch an die Oberfläche steigt, die festen Verunreinigungen mit nach oben nimmt und mit den gleichfalls entstehenden Alkalifluoriden verschlackt. Gerade der Wechsel im spezifischen Gewicht der Fluoride soll nach den Ansprüchen des Patents die günstigste reinigende Wirkung haben.

Einige Verbesserungen des Verfahrens befürwortet Karl Hess in den Patenten 318304, 320220 und 343614. Um den Abbrand beim Einfüllen zu verringern, soll der Schmelztiegel einen Deckel mit Einfüllschacht erhalten, der etwas unter die flüssige Salzschiebt ragt. Es soll der Tiegel so angeordnet sein, daß das Schmelzgut zwecks inniger Durchmischung bewegt werden kann. Endlich soll der Schmelze ein wasserlösliches Steinsalz als Flußmittel beigegeben werden, damit auch die Metallkörner zurückgewonnen werden können, die in der erstarrten Salzschiebt enthalten sind.

Rich. Walter empfiehlt (D. R.-P. 337296, 1920), die Späne und Abfälle zu brikkettieren, sie aber vorher mit den in flüssige Form gebrachten bekannten Lösungs- und Flußmitteln für Aluminium zu durchtränken und so vor dem Zusammenpressen in innigster Berührung mit dem Material einzutrocknen.

Ein Verfahren der Rückgewinnung von Leichtmetall, insbesondere Aluminium und Aluminium-Magnesiumlegierungen, ist endlich auch der Chemischen Fabrik Griesheim-Elektron unter D. R.-P. 360818, 1920, geschützt worden. Es behandelt die Rückstände und Abfälle mit Chlormagnesium und ist dadurch gekennzeichnet, daß man die Metallabfälle bei einer Temperatur von mindestens 480° mit geringen Mengen wasserfreien Magnesiumchlorids verschmilzt und so lange umrührt, bis die durch Verklebung der Fremdstoffe entstehende Masse alles in der Schmelze noch vorhandene Chlormagnesium aufgesaugt hat, so daß nach Abscheiden dieser zu Boden gesunkenen Masse eine von Fremdstoffen freie Metallschmelze abgegossen werden kann. Statt des Chlormagnesiums kann man auch Carnallit oder Gemische von diesem mit Chlormagnesium verwenden oder trockenes Chlorgas in die magnesiumhaltige Schmelze einleiten. 1000 kg Aluminiumabfall wurden z. B. mit 60 bis 80 kg Magnesiumchlorid 1 bis 2 Stunden verrührt und nach Abkühlen auf Gießtemperatur vom entstandenen Bodensatz abgegossen. Die Ausbeute betrug 96 bis 98 Proz.

Analytische Untersuchung des Reinaluminiums.

Bezüglich der etwa notwendigen Schwefel-, Natrium-, Magnesium-, Kupfer-, Zink- und dergleichen Bestimmungen verweisen wir auf die Untersuchungsmethoden von Lunge, 2. Bd., 1910. Erwähnung sollen nur die Bestimmungsmethoden für Eisen, Silicium,

Natrium, Kohlenstoff und Tonerde finden, die, wie namentlich die beiden zuerst genannten für die Qualität des Aluminiums von besonderer Bedeutung sind.

Eisenbestimmung: Nach Otis-Handy löst man 1 g Substanz in 20 bis 30 ccm einer Säuremischung von 100 ccm Salpetersäure (spezifisches Gewicht 1,42), 300 ccm Salzsäure (spezifisches Gewicht 1,2) und 600 ccm Schwefelsäure (25proz.), dampft ein bis zur Entwicklung von Schwefelsäuredämpfen, nimmt mit verdünnter Schwefelsäure unter Erwärmen auf, reduziert das Ferrisulfat durch 1 g reinen Zinkstaub und titriert die abgekühlte Lösung mit Kaliumpermanganat.

Nach einem anderen Vorschlag werden 3 g Aluminium in 50 ccm Kalilauge (1:1) gelöst, zur Trockne gedampft und mit Salzsäure aufgenommen. Bei 70°C wird bis zur Sättigung Schwefelwasserstoff eingeleitet und von einem etwaigen Niederschlag abfiltriert. Das Filtrat wird zur Vertreibung des Schwefelwasserstoffs gekocht. Dann wird Bromwasser zugesetzt und so lange erhitzt, bis der Bromgeruch verschwunden ist. Darauf wird Ammoniak im Überschuß zugesetzt, eine Minute gekocht und der Niederschlag absitzen gelassen. Nach gründlichem Auswaschen mit heißem Wasser wird er nochmals mit Salzsäure gelöst, mit Ammoniak gefällt, filtriert, gewaschen, getrocknet, geglüht und als FeO gewogen oder das noch feuchte, als Niederschlag erhaltene Eisenhydroxyd wird mit verdünnter Schwefelsäure gelöst, mit 1 g chemisch reinem Zinkstaub reduziert und mit Kaliumpermanganat titriert.

Siliciumbestimmung: Otis-Handy löst die Metallspäne zum Zwecke der Si-Bestimmung in der oben erwähnten Säuremischung auf, bei der kein Silicium als Siliciumwasserstoff (SiH_4) entweicht. Man übergießt 1 g des Aluminiums in bedeckter Porzellanschale mit 20 bis 30 ccm des Säuregemisches, erwärmt gelinde bis zur vollständigen Zersetzung des Metalles, dampft ab und erhitzt den Rückstand bis zur Entwicklung von Schwefelsäuredämpfen. Der erkaltete Rückstand wird zunächst mit 100 ccm 25proz. Schwefelsäure einige Zeit erwärmt, dann setzt man 100 ccm kochendes Wasser hinzu, kocht bis zur Auflösung des Sulfats, filtriert das Gemisch von Kieselsäure und freiem Silicium ab, verascht das Filter im Platintiegel, schmilzt den Rückstand mit 1 g Natriumcarbonat, scheidet die Kieselsäure in bekannter Weise (Zerlegen mit Salzsäure, Abdampfen usw.) aus der Schmelze ab, wägt sie und prüft sie durch Abdampfen mit Flußsäure usw. auf ihre Reinheit.

Bestimmung des freien (kristallinen) Siliciums: Das wie vorstehend erhaltene Gemisch von Kieselsäure und Silicium wird aus einer zweiten Platinschale mit einigen Kubikzentimetern

Flußsäure nach Anfeuchtung mit Schwefelsäure behandelt, die Lösung eingedampft, die Schwefelsäure verjagt, der braune Rückstand (Silicium) bis zur Konstanz über dem Gebläse geglüht und gewogen. Die Differenz gegen das Gewicht des durch die vorhergehende Bestimmung ermittelten Gesamtsiliciums ergibt den Gehalt an gebundenem Silicium.

Natriumbestimmung im Reinaluminium (Mitteilungen des Materialprüfungsamtes, Bd. 41, 1923): Die Bestimmung ist möglich, wenn das Aluminium aus einer mit Eis und Kochsalz gekühlten Chlorid- oder Sulfatlösung durch Einleiten von Wasserstoffgas abgeschieden wird, während die dabei in Frage kommenden Mengen von Kochsalz in Lösung bleiben. Die noch in Lösung bleibenden geringen Mengen von Aluminium können von dem Alkali leicht weiter getrennt werden. Dieses Verfahren ist auf die Trennung des Aluminiums von anderen Alkalien mit Erfolg ausgedehnt worden. Statt durch Eis kann man bei der Untersuchung durch Einleiten von Salzsäuregas in fließendes kaltes Wasser die entsprechende Temperatur erzeugen, was aber den Nachteil hat, daß die Lösung etwas mehr Aluminium zurückhält.

Bestimmung des Kohlenstoffs (Zeitschr. f. Metallk. 1924, 2. Heft): Sie ist in den letzten Jahren wiederholt am Reinaluminium durchgeführt und diskutiert worden. Nach Czochralski und Wetzel beträgt der Kohlenstoffgehalt in den handelsüblichen Sorten im Mittel 0,03 Proz., kann aber unter besonderen Schmelzbedingungen — Gegenwart kohlenender Stoffe, starkes Erhitzen — gelegentlich auf 0,2 Proz. steigen. Nach Hahn gibt von den drei gebräuchlichen Bestimmungsmethoden — dem nassen Verfahren im Corleiskolben mit Chromschwefelsäure, dem trockenen Verfahren im Verbrennungsrohr mit oder ohne oxydische Zuschläge und dem kombinierten Verfahren von Moissan — das mittlere die zuverlässigsten Werte. Doch ist einiges dabei zu beachten. Durch einfaches Überleiten von Sauerstoff bei hoher Temperatur fallen die Ergebnisse zu niedrig aus, da die Späne zu Tröpfchen zusammenschmelzen und alsbald von Oxydhäutchen umschlossen werden, die jede weitere Oxydierung verhindern. Richtige Werte erhält man, wenn man die Verbrennung unter Mitwirkung oxydischer Stoffe, wie CuO , in Pulverform durchführt. Eine Einzelbestimmung ist in 1 bis 2 Stunden ausführbar.

Bestimmung der Tonerde im Reinaluminium nach Gerhard Jander und Berthold Weber, Göttingen (Zeitschr. f. angew. Chemie 1923): Diese Analysenmethode gestattet, das im metallischen Zustand vorliegende Aluminium von den übrigen Komponenten der Aluminiumlegierung quantitativ zu trennen und

für sich zu bestimmen. Durch die Abtrennung der im Vergleich zu den übrigen Bestandteilen weit überwiegenden Aluminiummengen ist die Analyse jener weit weniger gestört und bedeutend vereinfacht. Sie gestattet insbesondere die oxydischen Beimengungen, Kieselsäure und Tonerde, zu bestimmen. Die Methode beruht im wesentlichen darin, daß reines trockenes Salzsäuregas auf Aluminiumspäne wirken kann, die auf 200°C erhitzt sind. Metallisches Aluminium sublimiert hierbei quantitativ als Aluminiumchlorid (AlCl_3).

Kupfer und Eisen machen bei dem Sublimationsverfahren nicht die geringsten Schwierigkeiten. Kupfer bleibt in metallischem Zustand zurück, Eisen als Ferrochlorid. Mangan und Magnesium sublimieren zum Teil mit dem Aluminium über, zum Teil finden sie sich noch im Rückstand, doch vermögen sie die Bestimmung der Tonerde nicht weiter zu stören. Die im Reinaluminium oder in Aluminiumlegierungen etwa vorhandene Tonerde verbleibt vollständig im Rückstand, denn Aluminiumoxyd wird durch Salzsäuregas nicht verändert. Man bestimmt den Tonerdegehalt, indem man den Rückstand mit verdünnter lauwarmer Salzsäure aufnimmt und filtriert. Die Chloride des Magnesiums, Mangans und Zinks gehen glatt in Lösung. Auf dem Filter verbleiben Aluminiumoxyd und Kieselsäure. Man bestimmt ihre Summe durch sorgfältiges Glühen im Platintiegel, raucht mit destillierter Flußsäure ab und wägt abermals. Man erhält das Tonerdegewicht. Die Differenz zum Gesamtgewicht ergibt den Kieselsäuregehalt.

Die angeführte Methode gestattet die Bestimmung der oxydischen Beimengungen, was bei Auflösungen des Aluminiums oder seiner Legierungen in Säuren oder Laugen ausgeschlossen ist. Der große Einfluß dieser Beimengungen auf die Verarbeitungsfähigkeit eines Metalles läßt die neue Sublimationsmethode als eine wesentliche Bereicherung der Aluminiumanalyse erscheinen.

Endlich sei noch die Analyse von Aluminiumasche erwähnt, wie sie notwendig wird, wenn der Gehalt an metallischem Aluminium festgestellt werden muß, der ja über die Verwendungsweise dieser Aschen entscheidet. 1 g der in einer Reibschale zerkleinerten Probe wägt man in einem 100-cem-Erlenmeyerkölbchen ein, gibt 20 cem Wasser zu und kocht, um die Carbide zu zersetzen. Durch den verschlossenen Kolben leitet man einen langsamen Kohlensäurestrom und läßt mittels Tropftrichters langsam verdünnte Schwefelsäure zufließen. Den entstehenden Wasserstoff-Kohlensäurestrom leitet man über gekörntes glühendes Kupferoxyd, dessen Sauerstoff den Wasserstoff zu Wasser oxydiert. Die anfänglich bei normaler Temperatur erfolgende Wasserstoffentwicklung muß man gegen Ende der Reaktion durch Erwärmen fördern. Da 2 Al (54,2) — 3 H — 3 H₂O (54,1) äquivalent sind, so ist die Auswaage in Grammen H₂O

= Grammen Aluminium. Fehler entstehen nur durch Fremdmetalle, sofern sie in metallischem Zustand in der Asche enthalten sind. (Vgl. Hiller, Zeitschr. f. angew. Chemie 1920.)

Herstellungskosten des Aluminiums.

Die Hauptauslagen bei der Herstellung von Aluminium werden in hohem Maße bedingt vom Preise der Tonerde, des Kryoliths und Aluminiumfluorids, von dem der Elektrodenkohle, von der notwendigen elektrischen Energie und von den Löhnen.

Einen gewissen Anhalt für die letzteren bietet eine Angabe Lodins (Annales des Mines, Mémoires, Sér. 10, **16**, 447, 1909), nach der für 100 kg Aluminium in der Tonerdefabrik 1,5, in der Elektrodenfabrik 2,0 und in der Elektrolyse und Gießerei 2,5 Tages-schichten erforderlich sind.

Einen guten Einblick in die Selbstkosten gewähren auch die folgenden Berechnungen Winteler's über die täglichen Ausgaben und Einnahmen einer Anlage von 2000 kW Bäderstrom bei 24stündigem Betrieb.

Ausgaben:

Reine Tonerde 3000 kg, 100 kg zu 38 \mathcal{M}	1140 \mathcal{M}
Kryolith 300 kg, 100 kg zu 55 \mathcal{M}	165 „
Fluoraluminium 300 kg, 100 kg zu 40 \mathcal{M}	120 „
Elektrodenkohle 1500 kg, 100 kg zu 30 \mathcal{M}	450 „
Bäderstrom (48 000 kW), 1 kW-Jahr = 8760 kW-Std. zu 50 \mathcal{M}	274 „
Beamte und Arbeiter	150 „
Heizung und Beleuchtung	10 „
Reparaturen und Erneuerungen	50 „
Verzinsung von Anlage- und Betriebskapital	50 „
Generalunkosten.	40 „
Steuern und Versicherungen	20 „
Amortisation	50 „
Summa Ausgaben	2519 \mathcal{M}

Einnahmen:

1330 kg Aluminium, 100 kg zu 2,20 \mathcal{M}	2926 \mathcal{M}
Tägliche Ausgaben	2519 „
„ Einnahmen	2926 „
Täglicher Gewinn	407 \mathcal{M}

1330 kg Aluminium kosten hiernach . . 2519 \mathcal{M}
100 kg 188 „

Nach dieser Übersicht entfielen auf die Selbstkosten

für das Ausgangsmaterial: reine Tonerde, Kryolith und Fluoraluminium	57,0	Proz.
„ die Elektrodenkohlen	18,0	„
„ den Bäderstrom	11,0	„
„ Beamte und Arbeiter	6,0	„
„ Betriebskosten (Heizung, Beleuchtung, Reparaturen, Steuern, Versicherungen, Generalunkosten usw.)	4,8	„
„ Verzinsung von Anlage- und Betriebskapital	2,0	„
„ Amortisation	2,0	„

Die obigen aus der Praxis stammenden Angaben sind in mehrfacher Hinsicht lehrreich. Die billige Beschaffung der Ausgangsmaterialien, besonders der reinen Tonerde, ist für die Preisgestaltung des Metalles wesentlich. Reine Tonerde wird am billigsten dort hergestellt, wo Bauxit, Ätznatron oder Soda und Kohle am leichtesten zu beschaffen sind. Tonerdefabrik und zugehörige Aluminiumhütte liegen deshalb oft räumlich weit auseinander. Die Transportkosten des reinen Materials spielen im Gesamtpreis nur eine ganz untergeordnete Rolle.

Auffallend ist ferner der hohe Verbrauch an Elektrodenkohle. $1\frac{1}{8}$ kg Kohle kommen nach obigen Angaben auf 1 kg Aluminium, während neuerdings nicht mehr als 0,8 kg gebraucht werden. Auch die Tatsache, daß für jedes Kilogramm Aluminium rund 36 kW-Std. geliefert werden müßten, weist auf gewisse Mängel (Energieverluste durch Stromschwankungen, beim Einschalten neuer Bäder, beim Dickwerden der Schmelze) in der Betriebsführung hin. Kommt man doch in modernen Großbetrieben, wie schon erwähnt, mit 25 kW-Std. aus. Bei dem außerordentlich niedrigen Preis (1 kW-Std. = 0,6 Pf.) fällt der gesteigerte Kraftverbrauch allerdings nicht ins Gewicht. Der Bäderstrom beansprucht in dem angeführten Falle nicht mehr als 11 Proz. der Gesamtkosten. Da aber die Stromkosten meist ein Vielfaches des genannten Betrages ausmachen, so leuchtet ein, daß die Konkurrenzfähigkeit einer Aluminiumhütte ganz wesentlich von dem Preise des zur Elektrolyse nötigen Stromes bedingt ist. Die Stromkosten lassen sich bei dem heutigen Stande unserer Technik nur niedrig halten, wenn billige Wasserkräfte zur Verfügung stehen. Wir haben hier die Erklärung dafür, daß die Aluminiumindustrie sich mit Vorliebe in Gebirgslandschaften angesiedelt hat, wie schon im geschichtlichen Teil dieses Buches ausgeführt worden ist (Norwegen, Schweiz, Westalpen, Rheinfall, Niagarafall).

Während Winteler die Herstellungskosten für eine Tonne Aluminium mit 1890 \mathcal{M} errechnet, sollen sie nach Clachee (British Al. Co.) nur 1420 \mathcal{M} betragen, die sich nach Collet (Chem.-Ztg. 16) in norwegischen Werken infolge der niedrigen Strompreise sogar auf 1000 \mathcal{M} ermäßigen sollen.

Dritter Teil.

Die Eigenschaften des Aluminiums.

Die physikalischen Eigenschaften des Reinaluminiums.

Die Kenntnis der merkwürdigen physikalischen und chemischen Eigenschaften des Aluminiums ist die Voraussetzung für ihre zweckmäßige Ausnutzung in der Technik, ihr erfolgreiches Studium die Vorbedingung dafür, daß seine Verwendung auf immer weiteren Gebieten der Wirtschaft möglich wird.

Von großer Bedeutung für viele Zwecke des Kunstgewerbes wie des täglichen Bedarfs ist die Farbe und der eventuelle Glanz oder Schimmer eines Werkstoffes. In dieser Hinsicht ist das Aussehen des Aluminiums ungünstig. Zwar besitzt es im kompakten Zustand einen schönen, weißen, typischen Metallglanz, der es mit einem Stich ins Bläuliche der Farbe nach zwischen Silber und Platin stellt. Man kann auch diesen silberähnlichen Schimmer durch geeignete Behandlung mit verdünnter Flußsäure nach voraufgehender Politur auf Hochglanz dadurch zur Wirkung bringen, daß man die Verunreinigungen des Reinaluminiums, Silicium und Eisen, von der Oberfläche wegbeizt. Allein, dieser dem Reinmetall eigentümliche Glanz hat keinen Bestand. Wenn er nicht durch eine glashelle Lackschicht geschützt wird, erliegt er bald den oxydierenden Einflüssen des Luftsauerstoffs. Die dünne Oxydhaut aber, die so wertvoll für die Haltbarkeit des Metalles ist, macht es gleichwohl optisch unscheinbar, indem es den bläulichgrauen Schein verstärkt und den natürlichen Metallglanz ins Erdiggraue überführt. Mit der nötigen Vorsicht hergestellte dünne Blättchen und Drähte sind im frischen Zustand schön silberweiß, weniger ist dies jedoch der Fall, wenn sie, besonders unter Erwärmung, mit Eisenwerkzeugen bearbeitet worden sind. Längeres Walzen oder Hämmern, ohne Zwischenlage zwischen Werkzeug und Werkstoff, führen zur Aufnahme von Eisen und verstärken das stumpfbläuliche Aussehen, das allerdings durch Waschen mit verdünnter Fluß- oder Salzsäure wieder beseitigt werden kann. Am dauerhaftesten läßt sich noch eine schöne Mattierung dadurch erreichen, daß man, ähnlich wie beim Silber, kurze Zeit mit Natron-

lauge beizt, bis Gasbläschen auftreten, darauf sorgfältig mit Wasser abspült und das Metall längere Zeit in starker Salpetersäure liegen läßt, wodurch ein unsichtbar feines Oxydhäutchen von offenbar gleichmäßiger Dicke gebildet wird, das den ursprünglichen Metallglanz zwar gedämpft, aber doch noch wirksam hindurchtreten läßt.

Wichtiger als die optischen, sind für die gewerbliche Verwendung des Reinaluminiums seine mechanischen Eigenschaften, die durch seine innere Struktur, sein Feingefüge, ganz wesentlich bedingt sind. Gerade diesem sind bis in die neueste Zeit sorgfältige Studien gewidmet worden. Hofft man doch, mit der genauen Kenntnis des Kleingefüges vom Reinmetall und seinen Legierungen zur vollkommenen Beherrschung der mechanischen und metallurgischen Eigenschaften dieses wichtigen Werkstoffes zu gelangen. Schon seit Deville und Rose (um 1860) weiß man, daß das Aluminium, wie alle Metalle, kristallin ist, und zwar kristallisiert es im regulären System. Die Größe der Kristalle ist eine Funktion der Zeit. Je rascher der Schmelzfluß sich abkühlt, um so kleiner sind die einzelnen Kristallindividuen. Wesentlich ist dabei der Reinheitsgrad. Gegenwart von Eisen vergrößert das Gefüge wahrscheinlich dadurch, daß schon im Schmelzfluß Eisenaluminiumkristalle entstehen (nach Gwyer Al_3Fe), die als Erstarrungskeime¹⁾ wirken. Durch Druck und Wärme hat man es fertig gebracht, Reinaluminium so weit umzukristallisieren, daß ein einzelnes Blechstück schließlich aus einem einzigen Kristall bestand. An einem solchen „Einkristall“ gelang es Scherrer mit Hilfe der Röntgenoskopie nach v. Laue, das Raumgitter des Aluminiums, d. h. die Gruppierung der Aluminiumatome im Kristall zu bestimmen. Er fand die den meisten Industriemetallen eigentümliche kubische Anordnung im 14-Punktsystem, bei dem die Atome so angeordnet sind, daß acht Atome in den Ecken eines Würfels von $4,07 \cdot 10^{-8}$ cm Kantenlänge liegen, während die restlichen sechs sich in den Mitten der Würfelflächen befinden.

Die bei rascher Abkühlung entstehenden Kleinkristalle ordnen sich, wie man schon bei mäßiger Vergrößerung im Mikroskop nach vorausgegangener Ätzung²⁾ deutlich sehen kann, in vielfach verzweigten Nadelchen an, die um so feiner sind, je reiner das Metall ist. Besonders deutlich kann man dieses dendritische Gefüge, das übrigens eine Eigentümlichkeit aller schroff gekühlten Schmelzen von Reinmetallen ist, an der Oberfläche erkennen, während sich in größerer Tiefe mehr und mehr die körnige Struktur entwickelt,

¹⁾ Ist auch Si zugegen, so können auch FeSi-Eisensilicide auftreten.

²⁾ Ätzmittel: 0,1 Proz. Na(OH) in Wasser mit 10 Proz. Alkohol. Korngrenzen zwar nicht sehr sichtbar, wohl aber deutlich erkennbar gewisse Verunreinigungen, z. B. Cu Al_2 braun, Mg_2Si blau.

wie sie sich bei langsamerer Abkühlung bis an die Oberfläche durchsetzt. Verunreinigungen durch Fremdmetalle, die infolge höheren Schmelzpunktes früher auskristallisieren, wie Eisen und Silicium, vergrößern das Gefüge sehr und machen das Metallstück unter Umständen technisch wertlos. Grobgefügtes Material ist wenig widerstandsfähig gegen Bruchbeanspruchung; Reinaluminium dagegen ist zäh. Sein Bruch ist feinkörnig und seidenglänzend. Mechanische Beanspruchung läßt ein körniges Gefüge entstehen. Überschreiten der Elastizitätsgrenze lockert das Gefüge durch Bildung feiner Spaltlinien. Walzen und Hämmern zertrümmert die großen Körner, steigert durch Bildung eines feinkörnigen Gefüges die Festigkeit, Elastizität und Härte und vermindert die Dehnbarkeit. Nachträgliches Erwärmen auf etwa 400° C führt zwar zu einer teilweisen Rekristallisation der Körner und Rückbildung der mechanischen Eigenschaften, doch wird das Gefüge nicht wieder erhalten, das sich beim Guß entwickelt hatte. Rassow und Velde (Zeitschr. f. Metallk. 1921) haben das Rekristallisationsdiagramm des technischen Aluminiums aufgestellt. Nach ihren Untersuchungen setzt die Rekristallisation erst oberhalb einer bestimmten Temperatur ein. Bis zu dieser Grenze bleibt die Korngröße unverändert. Erst der sprunghafte Abfall in der Korngröße zeigt die Rekristallisation an. Für Aluminium lag die untere Grenze bei hohen Stauchgraden (bis 75 Proz.) unterhalb 300° C. Sie steigt bei geringerer Beanspruchung und liegt bei Stauchgraden von 5 Proz. bereits über 400° C. Kaltrecken und Hämmern wirken bei Aluminium im gleichen Sinne: sie verkleinern das Korn.

Die Zugfestigkeit beträgt bei gegossenem Reinaluminium 10 bis 12 kg/qmm bei etwa 3 Proz. Dehnung. So ist das Material wenig fest, ungefähr wie gewöhnliches Gußeisen. Kalt gewalzt oder geschmiedet, erreicht es fast die absolute Festigkeit von gegossener Geschützbronze und übertrifft die von warm gewalztem Kupfer, sowie von Zink und Zinn.

Querschnitts- verminderung durch kaltes Walzen oder Schmieden	Ungewärmt		Gewärmt	
	Zugfestigkeit kg/qmm	Dehnung Proz./dm	Zugfestigkeit kg/qmm	Dehnung Proz./dm
20 : 1	23,5	4,3	10	20
80 : 1	27	4,2	8,1	19

Dabei ist das kalt gewalzte Aluminium von 27 kg Festigkeit keineswegs spröde. Es läßt sich noch scharf um 360° biegen, ohne zu brechen. Gleichwohl wird man bei umfänglicher mechanischer Bearbeitung durch Drücken, Ziehen, Walzen, Pressen, Schmieden,

Treiben und Prägen die allzu große Bearbeitungshärte durch Erwärmen auf 400° bis 500° C mit nachträglichem langsamen Abkühlen zu beseitigen suchen.

Aluminiumdraht von 2,5 mm Durchmesser, gewärmt, hat 25 kg/qmm Zugfestigkeit. Nach Versuchen Prof. Bauschingers an Gußaluminium der Neuhausener Fabrik ergab eine Querschnittsverminderung von 12,9:1 durch Pressen und kaltes Hämmern eine Festigkeit von 26,7 kg/qmm bei 2,7 Proz. Dehnung. Durch Anwärmen ging die Festigkeit auf 14 kg/qmm zurück, dafür stieg die Dehnung auf 23,3 Proz. Dasselbe Stück im Querschnittsverhältnis 2:1 weiter gestreckt, ergab eine Festigkeit von 19,5 kg/qmm. Die Festigkeit sinkt mit Zunahme der Temperatur von Zimmertemperatur bis 100° C langsam, dann schneller, aber nahezu stetig bis zu seiner breiartigen Erweichung bei etwa 550° C. Es kann dann nicht mehr gehämmert werden, ohne zu zerfallen. Eine Zugfestigkeit besitzt es dann nicht mehr, doch läßt es sich ein wenig unter dieser Temperatur noch schweißen.

Die Festigkeitsverhältnisse gegossenen Aluminiums mit steigender Temperatur sind nach Le Chatelier folgende:

Temperatur in °C	15	100	150	200	250	300	350	400	460
Zugfestigkeit kg/qmm . .	18,7	15,2	12,9	10,5	5,7	5,7	3,8	2,4	1,6

Über die Festigkeitsverhältnisse bei abnorm tiefen Temperaturen sind dem Verfasser Untersuchungen nicht bekannt.

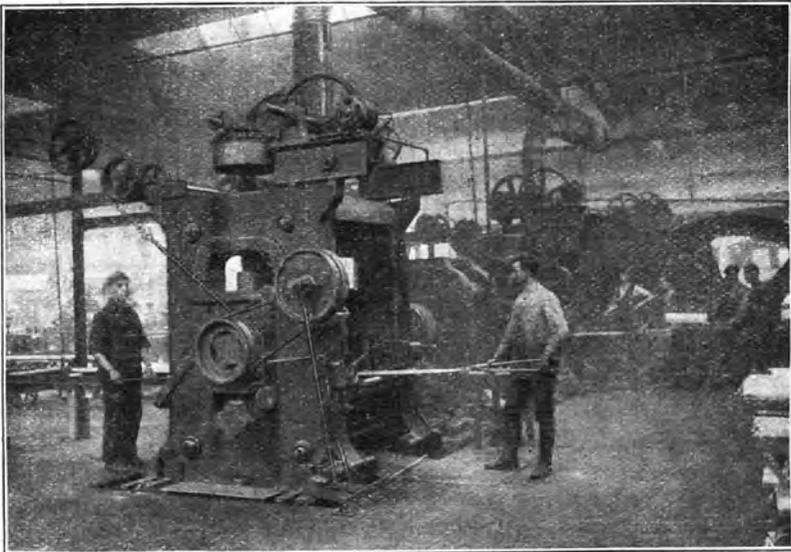
Stark gewalztes und gezogenes Aluminium federt gut und besitzt auch eine beträchtliche Härte. Sein Elastizitätsmodul beträgt 6500 bis 7500, ist also rund viermal so groß wie der des Bleies, etwa halb so groß wie der des Kupfers und nur ein Drittel so groß wie der des Stahles. Bei Erhitzung auf 100° C fällt die Elastizität des Aluminiums bereits um 20 Proz. Mit steigender Temperatur nimmt sie dann rasch ab und ist bei 400° C bereits verschwindend gering.

Um so beträchtlicher ist bei erwärmtem Aluminium die Dehnbarkeit und Weichheit, die ähnlich wie bei Silber und Gold die feinsten Blättchen auszuhämmern und die dünnsten Drähte auszuziehen gestattet. Über die günstigsten Temperaturen beim Walzen und Ziehen lassen sich bestimmte Angaben nicht machen. In der Regel wärmt man die dicken Walzkuchen so weit vor, daß ein frischer Fichtenholzspan zu rauchen anfängt, was einer Temperatur von etwa 430° C entsprechen dürfte. Diese Walzkuchen müssen jedoch feinkristallin sein. Sie sind daher, wie man in jedem Aluminiumwalzwerk beobachten kann, in eisernen, schnell kühlenden Kokillen vorgegossen. Ähnliche Bedingungen sind natürlich auch bei der Herstellung von langgestreckten Drahtbarren einzuhalten. Walzbarren stellt man heute in Größen zwischen 40 und 1000 kg her. Bis 100 kg benutzt man Hochkantkokillen mit dem Aufguß auf

der kleinsten Fläche. Bei größeren Barren ist man zu Flachguß übergegangen. Bei dieser Art der Herstellung muß man aber genügend große Steigtrichter anbringen. Diese dann auf die Mitte der Blechtafeln kommenden Aufgüsse muß man vor dem Walzen sorgfältig wegfräsen. Sie durch Walzen wegzubringen, ist unmöglich. Die über den Barren hinausragenden Aufgüsse würden zwar plattgedrückt, wegen der vorhandenen Oxydhäutchen sich aber niemals mit dem Walzblech verschmelzen.

Das Aluminiumwerk Rheinfelden verwendet neuerdings Gußformen mit beweglicher Längs- und Stirnwand, so daß Walzbarren mit ihnen bis zu den größten Abmessungen und Gewichten her-

Fig. 84.



Blockwalzenstraße.

stellbar sind. Die Aufgüsse sind an einer Schmalseite angebracht. Sie kommen also beim Walzen an den Blechrand, der so wie so später abgeschnitten wird.

Beim Walzen treten nicht selten Fehlstellen im Material zutage. Durch Kratzen und Schaben, unter Umständen durch Beizen mit Alkali, muß die Oberfläche vor Weiterbehandlung blank gemacht werden. Besonders gefürchtet sind die Blasen, die von der Größe einer Nadelspitze bis zur Hirsekorngröße auftreten können, die Flecken und Mißfärbungen, das Rau- und Krispeligwerden, über deren Entstehungsursache die Ansichten noch wirt durcheinander gehen. Der Walzprozeß ist auch von bedeutendem Einfluß auf die Feinstruktur des Materials. Nach Untersuchungen von Weber

stellen sich die Elementarkristalle mehr und mehr in bestimmter Richtung ein. Bei höchster Beanspruchung nehmen sie eine (111)-Richtung in der Walzrichtung und eine (011)-Richtung in der Quer- richtung ein, während sich in der Walzebene die (112)-Ebenen der Kristalle einstellen. Bei Walzgraden zwischen 10 bis 30 findet sich vorzugsweise eine Kristallitenordnung, bei der in die Walz- und Querrichtung, sowie in die Foliennormale je eine Würfelkante fällt.

Die dicken Walzblöcke werden im allgemeinen nach der eben erwähnten Vorwärmung zwischen heißen, mit Vaseline geölten Walzen zu Blechen von 6 mm Stärke ausgewalzt. Geringere Blechstärken erhält man dann durch Kaltwalzen (Fig. 48). Ihre Härte kann man noch durch nachträgliches Erwärmen innerhalb der möglichen Grenzen weitgehend verändern.

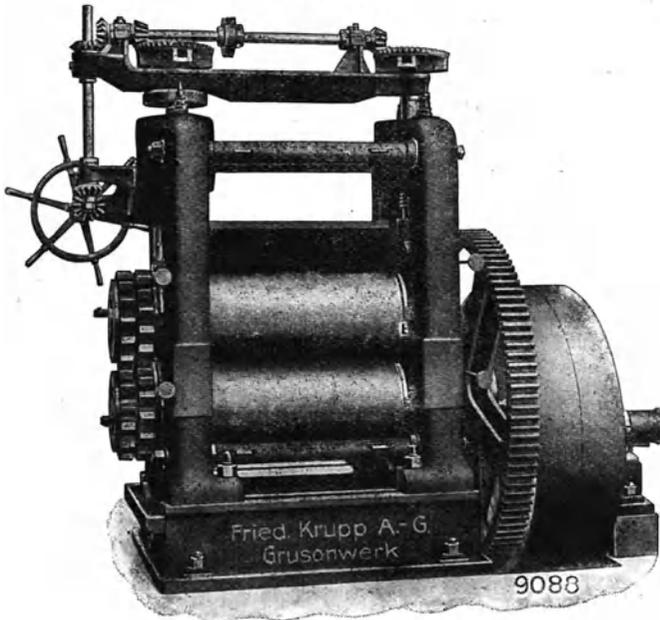
Besonders interessant sind die Arbeitsweisen eines Feinwalzwerkes.

Die Herstellung von Aluminiumfolien wurde in Deutschland erstmalig durch D. R.-P. 165965, 1905, den Schweizern Lantschl und Jequier, Ganterswil, geschützt. Danach sollen die Walz- zylinder beim Arbeitsgang mit Warmwasser beheizt sein, dünne Blätter durch Dublieren (Übereinanderlegen mit einer Zwischen- schicht eines wasserlöslichen Öles) hergestellt werden und die Folien nach dem Walzen im Vakuum bei dunkler Rotglut ausgeglüht werden.

Mit einigen Abänderungen findet sich das Verfahren in einer Unterabteilung des Singener Aluminiumwalzwerkes wieder, deren ansehnliche Größe bezeugt, daß die Aluminiumfolie ein wichtiger Bedarfsartikel geworden ist. Der Werkraum mit seinen vielen kleinen Präzisionswalzen und wie Stoff aufgewickelten dünnen Blechen erinnert lebhaft an den Webraum einer Tuchfabrik. Das Cyklophenhafte gewöhnlicher Walzwerke ist jedenfalls völlig verschwunden. In verblüffend einfacher Arbeitsweise werden hier die dünnen Bleche bis auf Stärken von 0,005 mm auf den zierlichen Maschinen (Fig. 49) heruntergewalzt und die feinsten Folien von Seidenpapierdicke, wie schon im angeführten Patent beschrieben, schließlich dadurch erhalten, daß man stärkere Blätter zusammen- legt und gemeinsam durch die enggestellten Walzen führt. Die hauchdünnen Oxydhäutchen, die sich auf den langen, wie Papier aufgerollten Blechen schon im vorausgehenden Arbeitsgange ge- bildet haben, verhindern jedes Zusammenkleben. Nur reinstes und weichstes Aluminium ist diesem Verfahren gewachsen. Un- reines zeigt Streifen und Flecke und wird undicht. Durch das Kaltwalzen sind die Folien hart und spröde geworden. Nachträgliches Erwärmen auf 400°C gibt ihnen ihre Biegsamkeit und Geschmeidigkeit zurück. Zu diesem Zwecke werden sie sauber geschnitten, in Bündel gepackt, mit einem größeren Bogen Aluminium umwickelt und in

einem genau temperierten Ofen so lange erwärmt, bis sie die gewünschte Biegsamkeit erhalten haben. Man läßt, soviel bekannt, die Folienpakete gewöhnlich 24 Stunden in einer Hitze von 335°C. Nach den Angaben des englischen Aluminiumforschers Anderson soll man aber die Erwärmung nicht länger als 40 bis 80 Minuten und nicht höher als 300°C einwirken lassen, da sich sonst das Kleingefüge zu sehr vergrößert, ohne die Weichheit und Biegsamkeit noch weiter zu steigern.

Fig. 49.



Folienwalze.

Die ausgezeichnete Walzbarkeit des Reinaluminiums, die in den Feinwalzwerken bis zur Gewinnung papierdünner Folien führt, wird durch die ans Wunderbare grenzende Hämmerbarkeit beinahe noch überboten. Folien von der Stärke eines Seidenpapiers lassen sich durch geeignete Schlagmaschinen unter Goldschlägerhäutchen zu hauchdünnen Blättchen schlagen, wie es als unechtes Schaum- und Rauschsilber allbekannt sein dürfte.

Aluminium und seine Legierungen lassen sich endlich auch bis zur Staubfeinheit zerkleinern. Man verwendet naturgemäß hierzu die Abfälle der sonstigen Verarbeitung, die vor dem Zerstampfen und Vermahlen von allen Verunreinigungen befreit sein müssen. Die mechanische Zerkleinerung, wie sie von den in Nürnberg-Fürth mehrfach vertretenen Bronzefarbwerken vorgenommen wird, unterscheidet sich nicht von den Methoden, die bei anderen Metallen,

besonders dem Kupfer und seinen Legierungen, üblich sind. Das Metall kommt unter zylindrische, senkrecht stehende schwere eiserne Stampfer, deren Flächen durch Warzen und Buckel uneben gemacht worden sind. Mit jedem Hub dreht sich der Stampfer einige Grade um die eigene Achse und bearbeitet so die darunter liegenden Metallstückchen. Die anfänglich groben Flitter kommen durch eine ganze Reihe solcher Stampfvorrichtungen, die sich nur dadurch unterscheiden, daß die Warzen und Buckel der Arbeitsflächen immer kleiner werden. Das Ergebnis dieses Arbeitsganges sind die Aluminiumflitter. Dieses Halbprodukt der Bronzefarbenindustrie wird in Pulvermühlen bis zur Staubfeine vermahlen. Eine Sortierung der feinen Körnchen erfolgt dabei durch geeignete Windvorrichtungen, die den Metallstaub in geschlossenen Behältern aufwirbeln und die Körnchen bis zu der normal zulässigen Größe in einen besonderen Behälter blasen.

Die feinsten Sorten von Aluminiumstaub, den sogenannten Schliff, gewinnt man aus den „Aluminiumbronzen“ durch einen Reibprozeß, bei dem das Materialabschleifen mit einer Gummiarabikumlösung auf sogenannten Reibmühlen erfolgt. Nicht ungefährlich soll das nachherige Auswaschen des Schliffes mit Wasser sein, da schon wiederholt Zersetzungen unter Bildung gewaltiger Wasserstoffmengen beobachtet worden sind, die auch einigemal zu Explosionen geführt haben.

Statt des Gummiarabikums verwendet man bei Herstellung des Aluminiumpyroschliffes auch etwas Öl, das nachträglich durch Extraktion mit Äther wieder entfernt wird.

Eine andere Methode (D. R.-P. 144134), Aluminium zu zerkleinern, besteht ferner darin, geschmolzenes Material zu versprühen, indem man die feinen Metalltröpfchen in Wasser spritzt, das durch Kühlung auf Temperaturen unter 100°C gehalten wird. Bei der großen Affinität des Metalles zum Sauerstoff und seiner hohen Schmelzwärme können allerdings auch hier Explosionen vorkommen, namentlich dann, wenn bei mangelhafter Kühlung des Granuliergefäßes zu große Aluminiummengen in eine zu kleine Wassermenge geraten sind, die seine momentane Verdampfung herbeiführen.

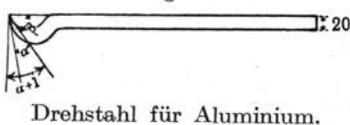
Ein weiteres Verfahren, Aluminium zu granulieren und dabei die Verwendung von Wasser auszuschalten, wird im D. R.-P. 140479 beschrieben. Es ist dadurch gekennzeichnet, daß durch das geschmolzene Aluminium unter Durchrühren Luft geblasen wird. Bei der hohen Temperatur oxydieren sich die Metallteilchen und verhindern so ihre Wiedervereinigung zu einer kompakten Masse.

In den englischen Patenten 13958 und 14853 erstrebt man denselben Effekt dadurch, daß man das geschmolzene Metall in einem hochgespannten Luft- bzw. Dampfstrom versprüht.

Eine weitgehende Zerkleinerung des Aluminiums erreicht man endlich auch dadurch (E. P. 15959, 1895), daß man das Metall etwa auf 430°C erhitzt und bei dieser Temperatur einer Stoß- und Reibwirkung unterwirft. Bei dieser Temperatur ist nämlich das Metall so spröde und mürbe, daß es sich ohne erhebliche Kräfte in kleinste Bröckchen zertrümmern läßt.

Ein eigenartiges Verfahren zur Herstellung von Aluminiumpulver gibt der Erfinder des Silumin, Aladar Pacz, Cleveland, in seinem D. R.-P. 361408, 1921, an. Bei seinen Überlegungen geht er davon aus, daß Reinaluminium in feingepulvertem Zustande ein wertvoller Stoff ist, der für verschiedene technische Zwecke wichtig ist, z. B. zur Erzielung hoher Wärmegrade, zur Reduktion gewisser Metalle und Legierungen und zu dem Verfahren des „Kalorisierens“. Wegen der Zähigkeit des Aluminiums aber ist es immer schwierig gewesen, es hinreichend zu zerkleinern. Bei allen bekannten Verfahren werden die Aluminiumstäubchen von feinen Oxydhäutchen eingehüllt, die das Kalorisierverfahren wie die aluminothermischen Prozesse erschweren. Wenn man Aluminium aber mit Stoffen legiert, die es spröde machen und die Oxydation verhindern, so fallen die Schwierigkeiten weg. Solche Hilfsstoffe sieht Pacz im Silicium und im Ferrosilicium. Sein Verfahren ist also dadurch gekennzeichnet, daß er dem Reinaluminium entweder 10 Proz. Silicium oder Ferrosilicium, bestehend aus 75 Proz. Silicium und 75 Proz. Eisen, vor dem Zerkleinern zulegiert.

Für die sonstigen Bearbeitungsverfahren des Drehens, Bohrens, Feilens, Sägens und Schneidens (etwa von Gewinden) ist die große Weichheit des Materials freilich sehr unerwünscht. Das Material „schmiert“. Dieser Übelstand erfordert besondere Maßnahmen beim Arbeiten. So verwendet man beim Feilen nur Spezialfeilen, die kleine Späne mehr abraspeln als abfeilen. Sie müssen des öfteren mit Natronlauge gereinigt werden.



Drehstahl für Aluminium.

So braucht man beim Schneiden und Fräsen harten Stahl, der spitzwinkliger geschliffen sein muß, als dies bei der Bearbeitung anderer Metalle üblich ist. Das metallurgische Laboratorium des Aluminiumwerkes an der Erft A.-G. hat übrigens durch geeignete Formgebung des Drehstahls Reinaluminium genau wie das viel härtere Aludur und Duralumin blank und glatt abzudrehen vermocht und dabei einen gleichmäßigen meterlangen Span erhalten können (Fig. 50). Der neue Drehstahl hat Hakenform, einen Schneidwinkel $\alpha = 26^{\circ}$, einen Brustwinkel $\beta = 53^{\circ}$ und einen Schnittwinkel $\alpha + i = 37^{\circ}$. Die Drehgeschwindigkeit ist am günstigsten bei 150 cm/sec , der Vorschub bei 30 mm/min . Schmier-

mittel ist Petroleum. Zum Bohren verwendet man zwar die gewöhnlichen Drillbohrer, doch muß man mit der $1\frac{1}{2}$ -fachen Umdrehungsgeschwindigkeit und der etwa 3- bis 4fachen Bohrgeschwindigkeit wie beim Messing arbeiten und zugleich mit Seifenwasser oder noch besser mit Petroleum schmieren. Bei zu langsamem Umdrehen und zu raschem Vorrücken drückt man den Bohrer nur in das weiche Metall, ohne den erstrebten Erfolg zu haben. Beim Sägen mit der Kreis- oder Bandsäge seien die Zähne nicht verschränkt und das Blatt am Rande etwas stärker als in der Mitte, damit die Metallspäne bequem aus dem Sägespalt herausfallen können.

Das spezifische Gewicht des Aluminiums ist je nach der Bearbeitung etwas verschieden; schmelzflüssiges hat bei 700°C ein Einheitsgewicht von 2,54, gegossenes bei Zimmertemperatur nach E. Brislee (Elektrochemie 1915) 2,7061, hart gewalztes und ge-
glühtes 2,7089, gezogenes 2,7091 kg/cdm. Die mikroskopische Prüfung zeigt, daß mit der Volumenänderung die kristalline Struktur des gegossenen Materials in die amorphe Form übergeht. Durch Ausglühen kann die langsame Rückverwandlung des amorphen in den kristallinen Zustand wieder bewirkt werden.

Die akustischen Eigenschaften eines Stoffes stehen mit seiner Elastizität und Dichte in engstem Zusammenhang. Dies gilt auch für das Aluminium. Seine Schallgeschwindigkeit von 5000 m/sec stimmt annähernd mit der des Glases und der des Stahles überein; sie ist ungefähr doppelt so groß wie die von Zinn und Silber und vierfach so groß wie die von Blei.

Auffallend prächtig soll der Klang des Aluminiums sein. Nach Faradays Untersuchungen kann man deutlich zwei Teiltöne unterscheiden, die mit der Längs- und Querausdehnung des Barrens im Zusammenhang stehen. Es ist merkwürdig, daß die vorzüglichen akustischen Eigenschaften erst jetzt und nur sehr vereinzelt zu einer entsprechenden Anwendung als Glockenmaterial usw. zu führen beginnen.

Treten die akustischen Eigenschaften des Aluminiums praktisch stark zurück, so sind umgekehrt seine thermischen von der größten technischen Bedeutung.

Der Schmelzpunkt des Aluminiums liegt bei dunkler, im hellen Tageslicht kaum sichtbarer Rotglut (658°C). Das geschmolzene Metall zeigt einen schönen Glanz und erinnert an das Quecksilber, auch insofern, als es starke Abrundung der Formen zeigt und die Tiegelwandungen (aus Graphit oder Eisen) nicht zu berühren scheint. Gleichwohl ist es, nur wenig über den Schmelzpunkt erhitzt, un-
gemein dünnflüssig und füllt die feinsten Kanäle mit vollkommener Schärfe aus. Dickflüssigkeit ist immer ein Zeichen starker Verunreinigung mit Tonerde, die so weit gehen kann, daß das Metall

breiartig und zäh wie Kleister wird. Trotzdem ist zu bemerken, daß im allgemeinen auch bei deutlicher Rotglut eine beträchtliche Oxydation noch nicht eintritt. Dies ist erst bei etwa 900°C der Fall, wo auch die Aufnahme von Gasen, wie Stickstoff und Kohlenwasserstoff, merklich werden kann. Auch das reine Metall geht in einen solchen breiartigen Zustand unmittelbar vor und nach dem Erstarren über. Der Übergang vom flüssigen zum festen Zustand ist kein plötzlicher, sondern ein allmählicher. Er deutet darauf hin, daß die Kristallisation von verschiedenen „Keimen“ nicht nur am Rande, sondern zugleich im Innern des Schmelzflusses selbst seinen Anfang nimmt. Ob diese Eigentümlichkeit des sogenannten „Reinaluminiums“ nicht damit zusammenhängt, daß Spuren anderer Stoffe mit höherem Schmelzpunkt vorhanden sind, die, wie Silicium, ohne Mischkristallbildung früher erstarren, sei dahingestellt. Jedenfalls deutet schon der Umstand, daß der Schmelzpunkt einigermaßen unscharf ist auf Schmelz- und Erstarrungserscheinungen, die bei Legierungen beobachtet werden.

Der Siedepunkt soll nach Greenwood (Zeitschr. f. Elektrochem. 1912) bei Atmosphärendruck 1800°C betragen, während H. v. Wattenberg ihn zu 2200°C angibt (Chem. Ber. 1910). Bei 1500°C soll das Metall schon einen beträchtlichen Dampfdruck besitzen ja es soll Kohn-Abrest schon bei 1100°C die Destillation des Aluminiums im Vakuum geglückt sein, während Ruff und Goecke erst bei 1690°C eine beginnende, bei 1740°C eine lebhaft Sublimation des Metalles unter 6 mm Druck beobachten konnten.

Trotzdem das Aluminium einen relativ niedrigen Schmelzpunkt hat (658°C gegen 961°C des Silbers, 1084°C des Kupfers und 1200° bis 1400°C des Eisens), so erfordert es doch ungemein viel Wärme und Zeit zu seiner Verflüssigung, da sowohl seine spezifische, als auch seine latente Wärme sehr hoch sind. So verbraucht 1 kg Aluminium, um sich um einen Grad zu erwärmen, zwischen -80° und $+15^{\circ}\text{C}$ 0,198 Cal, zwischen 15° und $+180^{\circ}\text{C}$ 0,219 Cal, in der Nähe des Schmelzpunktes 0,309, während die spezifischen Wärmen des Kupfers und Eisens rund halb so groß sind.

Auch die latente Wärme, das ist diejenige Wärmemenge, die 1 kg festes Aluminium von Schmelzpunktstemperatur gerade verflüssigt, ist auffallend groß. Sie wird von den verschiedenen Forschern zwischen 77 und 100 Cal angegeben, eine Unstimmigkeit, die sich aus dem undeutlichen Übergang der festen in die flüssige Phase erklärt. Sie ist jedenfalls mehr als viermal so hoch wie die des Silbers und doppelt so groß wie die des Kupfers. Diese Eigenschaften bedingen auch das langsame Erstarren und das lange Flüssigbleiben im Tiegel.

Ein gut rotwarm aus dem Ofen kommender unbedeckter Graphittiegel mit 20 bis 30 kg Metall kann $\frac{3}{4}$ Stunden stehenbleiben, bevor

das Aluminium erstarrt. Das Metall ist noch glühend, wenn der Tiegel selbst längst dunkel geworden ist. Diese Eigenschaften gestatten auch, die Gießtemperatur relativ niedrig zu halten. Mehr wie 10° C über dem Schmelzpunkt sollte man das Metall nicht vergießen. Um bei Überhitzung die richtige Gießtemperatur rasch zu erreichen, gibt man festes Aluminium nach Bedarf zur Schmelze. Dieselbe Methode wendet man auch beim Gießen größerer Stücke an. Es sind nämlich außer der sehr hohen Gesamtschmelzwärme von 240 Cal (Silber nur 1/3, Kupfer 2/3 davon) die absolute Wärmeleitfähigkeit, die lineare Ausdehnung und das lineare Schwindmaß, die den Gießakt bei Aluminium einigermaßen schwierig machen. Die absolute Wärmeleitfähigkeit ist bei 0° C 34,35, bei 100° C 36,19, liegt also zwischen der des Goldes und Platins, ist doppelt so groß wie beim Eisen, halb so groß wie beim Kupfer, ein Drittel so groß wie beim Silber. Sie besagt, daß in einer Aluminiumplatte von 1 mm Dicke, deren beide Seiten um 1° C verschiedene Temperatur haben, durch jeden Quadratmillimeter in der Sekunde so viel Wärme geht, als nötig ist, um 34,56 bzw. 36,19 mg Wasser um 1° C zu erwärmen. Die lineare thermische Ausdehnung beträgt 0,002218 bei Zimmertemperatur (Calvert und Johnson). Sie fällt bei tieferen Temperaturen (bei -190° C 0,0000184), steigt anfänglich mit steigender Temperatur (+100° C 0,000024), um schließlich wieder zu fallen (+170° C 0,0000184). Nach Wilmar H. Sander und Peter Hindert folgt die lineare thermische Ausdehnung von 99,14 Proz. Aluminium innerhalb der Grenzen 15° und 600° C genau der Gleichung:

$$L_1 = L_0 [1 + (21,90 t + 0,012 t^2)] 10^{-6}.$$

Besonders nachteilig ist beim Gießen das hohe lineare Schwindmaß, das 1,8 Proz. beträgt. Hat man nun Gußstücke mit sehr verschiedenen Querschnitten, so erstarren, wenn man ohne besondere Vorsicht gegossen hat, die engen Stellen zuerst. Ist dann nicht durch Steiger und breite Angüsse an den starken Stellen des Werkstückes ein Nachsaugen möglich, so bilden sich im Innern dieser Teile Hohlräume, die gefürchteten Lunker, oder es entstehen dort Risse und Brüche, wo die Erstarrung bereits größere Fortschritte gemacht hat. Man ist also genötigt, Gußstücke mit verschiedenen Querschnitten an den gefährdeten Stellen zu kühlen, und das geschieht, wie schon angedeutet, zweckmäßig so, daß man dort einige Stückchen festes Aluminium einlegt, wo man die Erstarrung beschleunigen will, damit dann eine möglichst gleichmäßige Abkühlung des ganzen Stückes gesichert ist. Die Raschheit der Abkühlung bedingt infolge der dadurch erhaltbaren feineren Struktur des Materials gut wärmeleitende Formen. Guß in eisernen Formen,

den Kokillen, ist daher immer fester als Sandguß. Man gießt auch ganz allgemein, mit Rücksicht auf die angeführten metallurgischen Eigentümlichkeiten des Aluminiums, die Walz- und Drahtbarren in senkrecht stehende Kokillen. In diesen beginnt die Abkühlung zweckmäßig unten und schreitet die Kristallbildung von unten nach oben fort. Das Metall kann ungehindert nachsaugen und die Lagerung der feinen Kriställchen ist von vornherein im Material in der für Walzen und Ziehen günstigsten Anordnung (quer zur Erstarrungsrichtung läßt sich Aluminium nicht so gut walzen und ziehen).

Von dem Guß der Halbfabrikate, der Walz- und Drahtbarren, sowie dem an früherer Stelle beschriebenen Verfahren des Einschmelzens und Umgießens von Aluminiumabfällen ist streng zu unterscheiden der Aluminiumfertiguß. Dieser erfolgt nun hauptsächlich als Guß von Aluminiumlegierungen. Aus wirtschaftlichen Gründen verwendet man hierzu vorzugsweise Altmaterial. Doch geht man für Legierungen mit besonders genau definierten technologischen Eigenschaften besser vom Reinformetall aus, dessen Beschaffenheit von den Aluminiumhütten garantiert wird.

Reinaluminiumfertiguß wird neuerdings zwar auch geliefert. Für bestimmte Zwecke der chemischen Industrie ist er allein brauchbar. Seine Herstellung ist aber wegen seines großen Schwindmaßes, der hohen Schmelztemperatur und großen Gesamtschmelzwärme besonders schwierig.

Sandformguß von Reinaluminium wie Aluminiumlegierungen stellt bedeutende Ansprüche an die Form. Der Sand zur Form sei so trocken, daß sich mit ihm eben noch arbeiten läßt. Die fertige Form nachzutrocknen, ist aber schädlich. Unzulässig ist auch ein zu großes Feststampfen der Masse, namentlich des Kernes. Dem stark schrumpfenden Metall muß die Möglichkeit des gleichmäßigen Zusammenziehens gegeben sein. Sandformguß besitzt naturgemäß rauhe Oberfläche. Er muß durch fein abhebende Werkzeuge geglättet werden, kann deshalb nicht sehr genau sein. Die Toleranz beträgt bis zu 2 mm.

Die technisch vollkommene und wohl auch wirtschaftlich entwicklungsfähigere Methode des Reinaluminiumgusses ist der Kokillenguß. Er liefert infolge der rascheren Abkühlung in diesen Formen das festere Material und gestattet infolge der Dauerhaftigkeit und guten Bearbeitungsfähigkeit des als Formmaterial verwendeten Eisens die Massenherstellung eines präzisen Gusses. Die Toleranz beträgt noch < 1 mm. Aluminiumguß in Kokillen bedarf in der Regel keinerlei Nachbearbeitung, während dies bei Kupfer- und Messingguß nötig ist, da dieser wegen der zu hohen Schmelztemperatur nur als Sandguß geliefert werden kann.

Das Gießen von Aluminium in Eisenformen (den Kokillen) bereitete aber bisher durch das Verhalten des flüssigen Metalles eigentümliche Schwierigkeiten, da man seither noch kein in jeder Hinsicht geeignetes Mittel gefunden hatte, das „Einfressen“ oder Einbrennen des Materials in die Stahl- oder Eisenformen zu verhüten, sowie überhaupt einen in jeder Beziehung fehlerfreien Kokillenguß herzustellen. Neuerdings wird nun von Gebr. Samson, Hamburg, eine unverbrennliche Kokillenfarbe in den Handel gebracht, die den Übelstand beseitigen soll. Sie wird nach Anrühren mit Wasser mittels Pinsels auf die Kokille aufgetupft. Die Form muß dabei so heiß sein, daß die Farbe sofort festbrennt. Das Tupfen und Streichen wird so lange wiederholt, bis sich ein gleichmäßiger, weißer Überzug gebildet hat. Die Kokille wird dann mit einem kurzborstigen, gut ausgetrockneten Pinsel abgebürstet und erhält dadurch Glätte und Glanz. So vorbereitete Kokillen liefern hunderte von schönen, glatten Abgüssen, ohne daß sie mit irgendwelchen anderen Anstrichmitteln, wie z. B. Graphit, behandelt werden müssen. Soll der ganze Anstrich einmal erneuert werden, so ist die alte Farbe vorher mit Drahtbürste sorgfältig zu entfernen. Der Anstrich eignet sich auch zum Glätten der Kerne bei Sandguß. Es sind vermutlich die Oxyde des Aluminiums, Magnesiums, Calciums, vielleicht auch des Zirkons und seiner Verwandten, die in dem Schutzmittel wirksam sind. Namentlich die letzten werden auch von anderer Seite als Formpuder empfohlen. Nach einem D. R.-P. 310404 der Metallhütte Baer & Co., Rastatt, überzieht man die Kokillen und bei Sandguß die Metall- oder Sandkerne mit Aluminiumlackbronze. Durch langsames Erhitzen auf 400° C brennt man diesen dann aus, wodurch die organische Masse verkohlt und das Aluminiumpulver sich oxydiert. Auch hierdurch wird das gefürchtete Einbrennen des Gußstückes in die Form unmöglich gemacht. Nach den Zusatzpatenten 324676, 324748 und 324391 kann man Aluminium (ja sogar die hochschmelzenden Metalle Nickel, Kupfer, Messing) auch in erhitzten Formen aus Lehm, Sand und keramischer Masse gießen, wenn man die Formen durch langsames Erhitzen auf 200° C trocknet und härtet, dann mit Aluminiumlackbronze anstreicht, diese bei 700° C ausbrennt und schließlich das flüssige Metall in die vorgeheizten Formen einbringt. Speziell bei Reinaluminium erhält man, auch bei geringen Wandstärken, einen dichten, porenfreien und tadellos glatten Guß¹⁾.

Zur Erzielung eines feinkörnigen, homogenen, blasenfreien Aluminiumgusses von hoher Dehnbarkeit und Bruchfestigkeit setzt man nach D. R.-P. 320139 dem Schmelzbade bei 658° C, der Schmelz-

¹⁾ Nitoritguß, Baer & Co., Rastatt.

temperatur des Aluminiums, 1 bis 5 Proz. Cadmium zu und steigert darauf die Hitze unter kräftigem Umrühren auf 770° C. Das Zusatzmetall verbrennt, reißt die Luftbläschen, sonstigen Gaseinschlüsse und etwa vorhandene Tonerdeteilchen energisch nach oben und reinigt so das Grundmetall in weitgehendem Maße.

Eine besondere Art des Kokillengusses ist der Spritz- oder Preß-, der Schleuder- und Vakuumguß, der den Präzisionsguß zur maschinellen Massenherstellung entwickelt hat. Die Verfahren bestehen, kurz gesagt, darin, daß glutflüssiges Metall entweder unter bedeutendem Überdruck (150 Atm. und mehr) in hoch feuerbeständige Formen gepreßt, in rotierende Kokillen geschleudert oder durch Evakuieren der luftdicht an die Zuleitung zum Schmelzgefäß ansitzenden Formen „angesaugt“, das ist durch den atmosphärischen Luftdruck hineingepreßt wird. Dieser Guß arbeitet mit größter Genauigkeit. Die Toleranz < 0,2 mm. Diese neueren Arbeitsweisen einer industriell hoch gesteigerten Gießtechnik sind, nachdem die Lösung des Problems einmal geglückt war, hinsichtlich ihrer Anwendung in unaufhaltsamem Steigen begriffen. Anfänglich nur für leichtschmelzende Legierungen brauchbar, ist man gegenwärtig auch imstande, das erst bei heller Rotglut schmelzende Aluminium auf diese Weise zu gießen. Die Hauptschwierigkeiten dieses Verfahrens liegen in der Beschaffung eines geeigneten Materials für die Kokillen, das den schroffen Temperaturwechseln auf die Dauer gewachsen ist, die dadurch eintreten, daß die Form nach jedem Einguß wieder auf eine möglichst tiefe Temperatur gebracht werden muß.

Durch gewisse hochschmelzende Chromvanadiumstähle soll man in technischer Hinsicht dieser Schwierigkeit Herr geworden sein, wenn auch der Preis des Materials das Gußerzeugnis zurzeit noch sehr verteuert.

Auch die Eigenschaft des Aluminiums und vieler seiner Legierungen, bei Rotglut Eisen aufzunehmen und dadurch brüchig zu werden, hat man neuerdings durch Anwendung der schon erwähnten „Kokillenfarbe“ aus Zirkonoxyd und verwandten seltenen Erden wirkungsvoll bekämpfen gelernt.

Besonders Nordamerika soll nach neueren Nachrichten auf diesem Gebiete des Aluminiumfertiggusses einen bedeutenden Vorsprung haben. Das an sich schon schnelle Tempo des Spritzgusses wird dort noch dadurch erheblich gesteigert, daß eine größere Anzahl gleicher Stücke in einer Form vereinigt und diese außerdem in besonderen Maschinen durch Patrizen, die man gleich in die Formmasse einpreßt, hergestellt werden. Methoden, die nur bei einer Massenherstellung größten Stils entwickelt werden konnten. Man gebe Deutschland die gleichen wirtschaftlichen Möglichkeiten und

die gleichen technischen Fortschritte würden auch bei unserer heimischen Gießpraxis in Erscheinung treten.

Viel Aufmerksamkeit wird zurzeit auch der Frage der aus technischen und wirtschaftlichen Gründen besten Aluminiumlegierung für Preß- und Spritzguß gewidmet. Die Eignung einer Aluminiumlegierung wird unter anderem maßgebend durch die Dehnung beeinflusst, die nicht nur in kaltem Zustande, sondern auch bei höherer Temperatur von Bedeutung ist. So zeigt Aluminium mit 12 Proz. Kupfer bei normaler Temperatur eine geringere Dehnung als solches mit 6 Proz., bei höherer ist das Verhältnis gerade umgekehrt. Nach Metal Industry 16/431 soll sich Aluminium mit 8 Proz. Kupfer (die sogenannte Legierung 12) als Spritzgußmetall bestens bewährt haben. Sie zeigt nicht nur gute Festigkeit und Dehnbarkeit, sondern greift auch das Material der Formen (Stahl, bei kleineren Gußstücken sogar nur Gußeisen) so wenig an, daß 5000 bis 10000 Güsse aus einer Form erhalten werden können.

Außer den mechanischen und metallurgischen Eigenschaften eines Metalles pflegen noch seine magnetischen, radioaktiven und elektrischen Konstanten von Bedeutung zu sein. Aluminium ist kaum magnetisch. Seine spezifische Permeabilität beträgt 23 (Äther = 1000000). Erheblich größeres Interesse erweckt sein Verhalten zur radioaktiven Strahlung. Seine Durchlässigkeit für γ -Strahlen ist ganz bedeutend. Erst bei einer Dicke von 70 mm nimmt die Strahlung um 50 Proz. ab. Bei β -Strahlen ist der entsprechende Betrag 0,5 mm, bei α -Strahlen 0,0024 mm.

Von ganz besonderer Wichtigkeit sind aber die elektrischen Eigenschaften des Reinaluminiums. Sie stellen es als Gebrauchsmetall der Elektrotechnik unmittelbar hinter das Kupfer, dem es in wirtschaftlicher Beziehung in mancher Beziehung überlegen ist. Der elektrische Leitungswiderstand von Hüttenaluminium 99 Proz., hartgezogen, beträgt bei Zimmertemperatur 0,0295 Ohm pro 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt. Der elektrische Temperaturkoeffizient, das ist die Widerstandsänderung bei einer Temperaturerhöhung um 1°C, ist zwischen 0 und 30°C + 0,0029 des Ausgangswiderstandes. Er steigt also mit der Temperatur. Mit der aus mechanischer Bearbeitung folgenden Härte nimmt er dagegen zu. Je nach deren Größe kann man ihn aber durch Anlassen mehr oder weniger verringern. Die günstigste Anlaßtemperatur, die den jeweils möglichen geringsten Widerstand einzustellen ermöglicht, liegt bei 250°C. Bei dieser Temperatur macht sich noch keinerlei Gefügeänderung bemerkbar. Eine Rekristallisation tritt aber bei 500°C bereits ein. Bei Erwärmung auf diese Temperatur geht das bei 250°C erhaltene Widerstandsoptimum verloren. Bei noch höheren Temperaturen tritt sogar eine merkliche Widerstandserhöhung auf.

Auch mit zunehmendem Gehalt an Fremdmetall im Aluminium erhöht sich der spezifische Widerstand oder, was dasselbe ist, fällt das spezifische Leitvermögen. Schon Richards (Franklins Journal 1897) stellte diese wichtige Tatsache fest, indem er verschiedene Sorten von Hüttenaluminium mit reinstem Kupfer, dessen Leitfähigkeit er gleich 100 setzte, verglich. Er fand Metall mit:

100,00	Proz. Al	vermutlich	66 bis 67
99,75	„ Al	„	63 „ 64
99,50	„ Al	„	61
99,00	„ Al	„	59
98,50	„ Al	„	55

Neuere Untersuchungen haben entgegen der obigen Annahme Richards gezeigt, daß es für Aluminium eine Grenze gibt, bei der mit zunehmendem Reinheitsgrad die Leitfähigkeit nicht weiter wächst. So soll 99,9proz. Al nach Anlassen auf 250°C einen größeren Widerstand zeigen als 99,6proz.

Interessante physikalische und elektrische Eigenschaften ergeben sich für das Aluminium auch aus dem Umstand, daß es sich in atmosphärischer Luft und in gewissen Salzlösungen mit einer dünnen Oxydschicht überzieht, die ähnlich wie eine Fetthaut wirkt, indem sie das Festhaften von Wasser äußerst erschwert. So berichtet die Elektrik World vom 10. Okt. 1910, daß die Aluminiumleitungen trotz größeren Durchmessers die heftigen Schneestürme an der nördlichen Grenze der Vereinigten Staaten weit besser überstanden hatten als die Kupferleitungen, weil die Feuchtigkeit an der glatten Oxydschicht abläuft und Schnee und Reif sich infolgedessen kaum ansetzen können. Auch deutscherseits ist das günstigere Verhalten von Aluminiumleitungen gegenüber Kupferleitungen bei Eis, Schnee und Rauheis nach allen bisher gemachten Beobachtungen bestätigt worden. Erklärt wird die nicht unwichtige Tatsache nicht nur durch das schon erwähnte Verhalten der Oxydhaut, sondern auch durch thermische Vorgänge in der Aluminiumleitung und deren größeren Durchhang, infolgedessen die Niederschläge besser ablaufen können. Die dünne Oxydschicht wirkt weiter als Isolator und gestattet die Verwendung blanken Aluminiumdrahtes zu Spulenumwicklungen, die neuerdings infolge ihrer großen Leichtigkeit und Hitzebeständigkeit eine steigende Verwendung finden.

Das Aluminium zeigt ferner als Anode elektrochemisch die merkwürdige Eigenschaft, daß es in Lösungen verschiedener Salze (Sulfate, Carbonate, Phosphate, Borax) bis zur sogenannten kritischen Spannung keinen Strom hindurchläßt. Durch Graetz wurde diese Eigenschaft zu der interessanten Konstruktion eines elektrischen Gleichrichters oder, wie man nicht mit Unrecht sagt, elektrischen Ventils benutzt.

Das eigentümliche Verhalten des Aluminiums in den erwähnten Salzlösungen führt uns weiter auf seine

elektrochemischen und chemischen Eigenschaften.

Seine Stellung in der Voltaschen Reihe wurde bereits von Wheatstone festgestellt. In einer Auflösung von Ätzkali ist es negativ gegenüber Zink, aber positiv gegenüber Cadmium, Zinn, Blei, Kupfer und Platin. Besonders mit Kupfer bildet es eine ziemlich kräftige Kette. In Salzsäure sind Zink und Cadmium positiv gegenüber Aluminium. In verdünnter Salpeter- und Schwefelsäure sind von den genannten Metallen nur Platin und Kupfer dem Aluminium gegenüber negativ.

Aluminium ist eines der elektropositivsten Elemente. Seine elektrolytische Lösungstension beträgt, gemessen an seinem Potential gegenüber Wasserstoff = 1, +1,276.

Auch der Gehalt des Aluminiumatoms an chemischer Energie ist außerordentlich groß. Beim Verbrennen von Aluminium zu Tonerde werden pro Kilogramm 7140 Cal entwickelt. Demzufolge ist das Aluminium eines der im chemischen Sinne reaktionsfähigsten Elemente. Sein Atomgewicht ist (Sauerstoff = 16) 27,09. Es bildet als dreiwertiges Kation mit einer großen Zahl von Säuren wohl ausgebildete und sehr beständige Salze. Es vermag aber ebenso gut mit Sauerstoff ein komplexes Anion zu bilden, das einer anderen Reihe von Salzen zugrunde liegt. Diese lassen sich sämtlich nach der Formel: $\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O} = \text{H}_6\text{Al}_2\text{O}_6$ entstanden denken, wobei das Anion H durch Metalle oder andere Radikale ersetzt werden kann. Unter Einwirkung von Wärme verbindet sich Aluminium sehr leicht mit den Halogenen, besonders wenn es sich in feinverteiltem Zustande befindet. Auf etwa 200°C vorgewärmtes Rauschsilber (Blattaluminium) entzündet sich in Chlorgas, und Aluminiumpulver + Jod brennt z. B. an der Luft unter Ausstoßung von Joddämpfen weiter, wenn man dem Gemisch einen Tropfen Wasser zufügt. Ebenso leicht verbindet es sich unter Einwirkung der Wärme mit Brom. Mit Silicium und Bor bildet es bei verhältnismäßig niedriger Temperatur kristalline Verbindungen, und borsaure sowie kieselsaure Alkalien greifen es unter Ausscheidung von Bor bzw. Silicium an, die sich mit ihm legieren. Kohlenstoff verbindet sich bei hoher Weißglut mit ihm zu Aluminiumcarbid nach der Formel: $6\text{Al} + 3\text{CO} = \text{Al}_4\text{C}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$, wobei zu beachten ist, daß der Prozeß bei sehr hohen Temperaturen auch in umgekehrter Richtung verlaufen kann. Mit Stickstoff gibt es bei hoher Temperatur Aluminiumnitrid, eine Verbindung, die mit Wasser Ammoniak liefert nach der Formel: $\text{AlN} + 3\text{H}_2\text{O} = \text{Al}(\text{OH})_3 + \text{NH}_3$. Schwefel-

wasserstoff übt, selbst in wässriger Lösung, keinerlei Wirkung auf Aluminium aus, ebensowenig wie trockenes Ammoniak. Lösungen von Ammoniak dagegen greifen es unter Bildung von Hydroxyd langsam an. Von Schwefelammon wird es selbst nicht in konzentriertem Zustande und bei hoher Temperatur beeinflusst. Es ist das einzige unedle Metall, das sich diesem Reagens gegenüber nahezu passiv verhält. Auch Rhodansalze sind auf Aluminium ohne Wirkung. Ebensowenig sind Nitrat- und Chloratlösungen von schädlichem Einfluß, wogegen Aluminium durch Chloride angegriffen wird, und zwar übt das Chlorion diese Wirkung aus. Chlorhaltige Stoffe ohne dieses, wie Chloräthyl, sind dagegen völlig unschädlich. Alaun- und Glaubersalzlösungen gegenüber entwickelt das Aluminium eine nur geringe Widerstandskraft. Aus Versuchen hat sich ergeben, daß stark verdünnte Eisenvitriollösungen bei Zimmertemperatur in Aluminiumgefäßen aufbewahrt werden können. Bei höherer Temperatur wird jedoch das Ferro- zu Ferrisulfat oxydiert. Aus diesen Lösungen wird das Eisen durch Aluminium stark ausgefällt. Es setzt sich sporadisch in Kristallen am Gefäß fest und führt so zur Bildung von Lokalelementen, die das Aluminium schließlich völlig zerstören. Auch Alkalisilikate zerstören es. Blutlaugensalze griffen Aluminium in 10- bis 50proz. wässrigen Lösungen auch nicht bei zehnstündigem Erwärmen auf 100^o C an, doch vermag es dem Angriff auch nur schwach alkalischer (2proz. KOH) Ferro- oder Ferricyankaliumlösungen auf die Dauer nicht standzuhalten. Die schmelzenden festen Alkalien sind ohne Einwirkung auf das Metall, um so energischer zersetzen es ihre wässrigen Lösungen unter Bildung von Wasserstoff. Durch Silicium verunreinigtes Aluminium entwickelt dabei zum Teil übelriechenden Siliciumwasserstoff. Ein anderer Teil des Siliciums wandelt sich in Kieselsäure um, während die Hauptmasse in Form graphitartiger schillernder Blättchen zurückbleibt, die sich durch Glühen im Sauerstoffstrom oxydieren lassen, aber auch bei längerem Kochen mit Alkalilauge in Lösung gehen.

Aus vielen Metalllösungen scheidet Aluminium das Metall ab, besonders leicht, wenn die Salzlösungen alkalisch oder ammoniakalisch sind; ganz besonders energisch wirken Soda und Pottasche. Neutrale und zumal saure Lösungen sind weniger reduktionsfähig. Die Lösungen aller Metallchloride, mit Ausnahme der Chloralkalien, nehmen Aluminium unter Bildung von Chlorüren oder basischen Chloriden auf; auch eine Aluminiumchloridlösung wird unter Entwicklung von Wasserstoff zersetzt.

Merkwürdig ist das Verhalten des Aluminiums zu Quecksilber. In ihm löst es sich zunächst mit Leichtigkeit und absorbiert ebenso leicht Quecksilberdämpfe aus der Luft. Das entstandene Amalgam

ist aber bei Gegenwart von Luftsauerstoff durchaus unbeständig. Das unsichtbar feine, filmartige Häutchen aus Aluminiumoxyd, das sonst das Metall schützend umhüllt, fehlt. Die große Affinität des Aluminiums zum Sauerstoff tritt nunmehr mit einer solchen Energie in Erscheinung, daß man nicht mit Unrecht von einer „Aktivierung“ des Aluminiums sprechen darf. Löst man sorgfältig gereinigtes Aluminium in Quecksilber, so steigt alsbald das entstandene Amalgam an die Oberfläche und oxydiert zu einer weißen, watteähnlichen Masse, von der 1 cdm nicht mehr als 1,5 g wiegt. Nach Untersuchungen von Roger-Jourdain, Paris, soll diese Carbonate und Peroxyde des Aluminiums enthalten, sich unter Kohlensäureentwicklung auflösen und bei 110°C schnell zersetzen.

Auch verschiedene Quecksilbersalze vermögen das Aluminium zu amalgamieren und durch anschließendes Oxydieren weitgehend zu zerstören. Ein durch Einreiben mit Kalomel oder Sublimat oberflächlich amalgamiertes Aluminiumblech treibt ganze Büschel eines moosartigen Oxyds aus. Und 99proz. Aluminium wird durch 0,01 Proz. Sublimat derartig aktiviert, daß es, in Wasser getaucht, dieses sofort zersetzt, während selbst feingepulvertes Aluminium bei Siedetemperatur nicht merklich darauf einzuwirken vermag. Die Empfindlichkeit gegen Quecksilber ist um so größer, je reiner das Aluminium ist. Aluminium, mit nur 3 Proz. Kupfer legiert, zeigt diese Erscheinung nicht mehr.

Die augenfällige zerstörende Wirkung des Quecksilbers und vieler seiner Salze ist darauf zurückzuführen, das ersteres als Sauerstoffüberträger zu wirken vermag.

Beim Erhitzen und Schmelzen an der Luft oxydiert sich chemisch reines Aluminium kaum. Man kann es im offenen Gefäß erhitzen. Es überzieht sich auch im Schmelzzustande lediglich mit einer filmartig feinen Oxydhaut, die das Metall vor jedem weiteren Angriff schützt. Erst bei Weißglut wird die Oxydation lebhafter. Bei dunkler Rotglut kann man es ohne sichtbare Veränderung sogar mit Salpeter schmelzen. Infolge seiner an früherer Stelle beschriebenen thermischen Eigenschaften läßt es sich nur schwierig im Sauerstoffstrom entzünden, sofern es sich um ein kompaktes Stück handelt. Es verbrennt aber mit blendend weißem Lichtblitz, wenn es als Staub in die Bunsenflamme geblasen wird. Es verbrennt auch mit großer Lichtwirkung, wenn man in einer Kugelhöhre ein Stückchen Kohle dem eingelegten Blattaluminium beifügt, Sauerstoff darüberleitet und die Kohle entzündet. Durch die Verbrennung der Kohle wird so viel Wärme frei, daß das Metall zu Tonerde verbrennt, die zu einer Kugel von Korundhärte zusammenschmilzt.

Daß kompaktes Aluminium selbst bei 700 bis 800°C mit Sauerstoff so träge reagiert, liegt nicht nur an seiner höheren Entzündungs-

temperatur, sondern auch an seinem guten Wärmeleitvermögen. Unterbindet man dieses, indem man das Metall pulverisiert, und erhitzt man es nun bis zu seiner Entzündungstemperatur, so oxydiert es sich äußerst lebhaft und entwickelt dabei die gewaltige Wärmemenge von 7140 Cal pro Kilogramm. Da sich trotz dieser Wärmemenge keinerlei Gase (nur etwas Aluminium verdampft) entwickeln, so erfolgt die Reaktion nicht nur ruhig, sondern es bleibt auch die gesamte Wärmemenge im engen Raume zusammen, so daß das entstehende, bei 2020°C schmelzbare Aluminiumoxyd dünnflüssig wird.

Statt des molekularen Sauerstoffs kann man auch Oxyde als Sauerstoffüberträger verwenden. Einige Oxyde, die, wie Kupferoxyd oder Bleisuperoxyd, leicht ihren Sauerstoff abzugeben vermögen, liefern dabei mit Aluminiumpulver explosive Gemische. Erst dem experimentellen Geschick eines Dr. Hans Goldschmidt gelang es, die große chemische Energie des Aluminiums im Thermitprozeß nutzbar zu machen, ein Verfahren, von dem noch in einem späteren Kapitel geredet werden muß.

Die große Affinität des Aluminiums, die durch seine Bildungswärme deutlich zum Ausdruck kommt, ist auch der Grund dafür, daß es die meisten Metalle im Schmelzfluß weitgehend zu reinigen vermag, indem es nicht nur den etwa gelösten Sauerstoff oxydiert, sondern auch die vorhandenen Oxyde reduziert. In der folgenden Reihe sind einige Metalle nach ihrer Bildungswärme geordnet, bezogen auf die gleiche Gewichtsmenge Sauerstoff: Na, K, Ca, Mg, Al, Si, Mn, Fe, Ni, Zn, Sn, Cu, Pb, Ag, Au. Aus dieser Reihe vermag jedes vorangehende Metall das nachfolgende aus seinem Oxyd zu reduzieren. Wie wir sehen, vermag das Aluminium beinahe alle metallurgisch wichtigeren Oxyde zu reduzieren, überraschenderweise jedoch nicht das des Magnesiums, obwohl die molare Bildungswärme des Magnesiumoxyds nur 143400 cal beträgt gegen 380200 cal der Bildungswärme des Aluminiumoxyds. Der scheinbare Widerspruch löst sich jedoch sofort auf, wenn man bedenkt, daß dieselbe Menge Sauerstoff, die 1 Grammmolekül Magnesiumoxyd bildet, nur $\frac{1}{3}$ Grammmolekül Aluminiumoxyd zu bilden vermag. Dementsprechend muß man $\frac{380\ 200}{3} = 123\ 733$ cal für Aluminiumoxyd in Ansatz bringen.

Während „aktiviertes“ Aluminiumpulver an feuchter Luft unter Wasserstoffentwicklung zerfällt und Wasser quantitativ zersetzt, wird Reinaluminium bei gewöhnlicher Temperatur nicht sehr angegriffen, doch wird es infolge der sich verstärkenden Oxydschicht grau und unansehnlich. Destilliertes Wasser wirkt, sofern kein Luftsauerstoff zugegen ist, weder bei gewöhnlicher Temperatur noch bei Siedehitze ein, ja selbst bei Rotglut übt Wasserdampf kaum einen Einfluß aus.

Im Gegensatz zu den eine große Haltbarkeit versprechenden Eigenschaften des Aluminiums sind jedoch an Aluminiumgegenständen auch schon vielfach tiefgreifende Zersetzungserscheinungen beobachtet worden, die seine Verwendbarkeit als Gebrauchsmetall ernstlich in Frage stellen müßten, wenn es nicht gelänge, sie weitgehend zu unterdrücken. Zum Glück ist es den Bemühungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt (Mitt. d. Phys.-Techn. Reichsanst. 1911, Prof. Heyn und Prof. Bauer) gelungen, die Ursachen der Korrosion an Aluminiumgegenständen größtenteils aufzuklären. Danach wird Aluminium von destilliertem Wasser nur dann angegriffen, wenn es durch Fremdmetalle stark verunreinigt ist. In hartem Leitungswasser jedoch, dessen Calcium-, Magnesium- und Eisensalze Aluminium um so stärker zersetzen, je unreiner es ist, wird auch das technisch reinste Aluminium angegriffen, und zwar um so mehr, je stärker es durch Kaltreckung und ähnliche mechanische Bearbeitung inhomogen geworden ist. Es zeigen sich teils Abblätterungen, die an den Rändern der Gefäße als Stellen stärkster mechanischer Bearbeitung ihren Anfang nehmen und den Walzrichtungen folgen, teils in örtlichen Aufbeulungen, die mit CaO, SrO und Al₂O₃ gefüllt sind und allmählich zerfallen. In der Wärme, bei Gegenwart von CO₂, scheinen sich die Anfressungen zu verstärken. Bei Erhitzen des Gefäßes über 450°C wird das Weiterfressen jedoch verhindert. Ungleichheiten in der Struktur bedingen Potentialunterschiede und diese führen zu Lokalströmen mit ihren elektrochemischen Wirkungen. Jede mechanische Bearbeitung macht daher eine thermische Nachbehandlung nötig, um die örtlichen Ungleichheiten in der Struktur zu beseitigen. Hartes Leitungswasser liefert dazu mit seinen Bicarbonaten und Chloriden den geeigneten Elektrolyten. Gewisse Salze, besonders Kalksalze, und von diesen bestimmte Konzentrationen, scheinen dabei besonders gefährlich zu sein. Kupfer, Zinn, Blei und Kohlenstoff sind in hartem Wasser dem Aluminium gegenüber negativ. Aluminium ist ihnen gegenüber also Lösungselektrode. Besonders ungünstig wirkt der in technischem Aluminium vorhandene Eisen- und Siliciumgehalt. Doch hat eine Arbeit von Moskopp im Aachener Institut für Metallhüttenkunde und Elektrometallurgie interessante Zusammenhänge erbracht. Nach ihr ist die Korrosion weniger von den absoluten Eisen- und Siliciummengen abhängig, als davon, ob das vorhandene Eisen durch Silicium gesättigt ist oder nicht. Reicht der Siliciumgehalt nicht aus, um jedes vorhandene Eisenatom an mindestens zwei Atome Silicium zu binden, so wird das Eisen den Angriff begünstigen. Die Korrosion wird sehr lebhaft, wenn das Atomverhältnis Si : Fe < 1 : 1 ist.

R. Seligman und P. Williams, England, endlich haben festgestellt, daß zur Korrosion von Reinaluminium in hartem Wasser

die Gegenwart von Sauerstoff notwendig ist. Ausschlaggebend für die örtlichen Anfressungen (Lochfraß) ist die gleichzeitige Anwesenheit von Chloriden und Bicarbonaten, sowie das Vorhandensein kleiner Hohlräume (Poren) in den Blechen.

Aluminium wird von allen anorganischen und organischen Säuren angegriffen, doch ist die Reaktionsgeschwindigkeit nach dem Grade der Konzentration und der Art der Säure sehr verschieden. Mit größter Leichtigkeit zersetzt es sich in Salzsäure. Die Auflösung erfolgt hier unter auffallend starker Wärmeentwicklung. Dabei hat sich herausgestellt, daß der Grad der allgemeinen Säurebeständigkeit des Reinaluminiums und seiner Legierungen geradezu an der Zeit gemessen werden kann, mit der beim Auflösen einer bestimmten Metallmenge in einer bestimmten Salzsäuremenge die Höchsttemperatur erreicht wird. In der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt ist diese Beobachtung durch Prof. Mylius zu einer thermischen Salzsäureprobe ausgebildet worden, die einen Vergleich verschiedener Aluminiumsorten hinsichtlich ihrer chemischen Widerstandsfähigkeit in kürzester Zeit durchzuführen gestattet.

Schwefelsäure von einer Verdünnung, bei der Eisen und Zink rasch in Lösung gehen, wirkt auf Aluminium nur äußerst langsam ein, und Salpetersäure scheint bei oberflächlicher Betrachtung reines Aluminium überhaupt nicht anzugreifen, ja, konzentriertere Lösungen scheinen geradezu durch Bildung einer Oxydschicht das Aluminium passiv zu machen. Nur bei sehr verdünnten Lösungen und in der Wärme läßt sich nach tagelangem Einwirken eine minimale Gewichtsabnahme eben noch mit der chemischen Wage feststellen.

Konzentrierte Schwefelsäure greift Aluminium schon in der Kälte, wenn auch langsam, an. Sie wird dabei zu schwefliger Säure reduziert, wobei merkwürdigerweise eine Schwefelabscheidung stattfindet (Moldenhauer). Schweflige Säure ist auf Aluminium ohne Einfluß. Die Widerstandsfähigkeit von Aluminium gegen verdünnte Schwefelsäure hängt vor allem vom Reinheitsgrad und der Dichtigkeit des Aluminiumgusses ab. Geräte aus reinstem, dichten Guß dürften nach neueren Erfahrungen bei Temperaturen von 30 bis 60° und Säurekonzentrationen von 8 bis 12 Proz. bei ständiger Benutzung eine Lebensdauer von 3 Jahren haben. Gewöhnlicher Handelsguß ist in 4 bis 6 Wochen zerstört. Enthält die Schwefelsäure Natriumsulfat in größeren Mengen, so geht der Säureangriff noch weiter zurück. Konzentrierte Phosphorsäure wirkt ähnlich wie konzentrierte Schwefelsäure. Es tritt hier eine entsprechende Abscheidung von Phosphor ein (Moldenhauer). Bei Verdünnung unter 1 Proz. kann Aluminium bei Zimmertemperatur als beständig angesehen werden. Bei Siedetemperatur ist jedoch auch der Angriff verdünnter Säure recht stark. Auch Borsäure und Kohlensäure,

ferner organische Säuren, wie Milch-, Apfel- oder Citronensäure, auch Ameisensäure, greifen bei gewissen Konzentrationen Aluminium kräftig an. Bei den Konzentrationen, wie sie in Speisen aufzutreten pflegen, ist ihre Einwirkung aber gering, sofern nicht höhere Wärmegrade und Gegenwart gewisser Salze, wie Kochsalz, in Frage kommen, ja, die Fruchtsäuren in der Zusammensetzung unserer Fruchtkonserven sollen Aluminium weniger angreifen als jedes andere Metall. Bei Passiermaschinen sind die Körper, bei Kirschenentsteinmaschinen die Trommeln, Abläufer und Schutzbleche aus Aluminium hergestellt und haben sich bestens bewährt. In Aluminiumkesseln soll man helleres Apfelmarmelade als in Kupferkesseln erzeugen und Geräte wie Pfannen, Schalen, Schöpfkellen usw. für Obstverwertung haben sich, sofern sie aus bestem Reinaluminium bestanden, vortrefflich gehalten. Wichtig ist dabei, daß keine der etwa entstehenden Aluminiumsalze gesundheitsschädlich sind. Misch- und Abfüllgefäße aus Aluminiumblech, 98- bis 99proz., zeigten selbst bei Arbeit unter 10 Atm. Druck vorzügliche Haltbarkeit und Beständigkeit gegenüber verdünnter Milch- und Kohlensäure. Geruch und Geschmack von Frisch- oder Sauermilch wurden weder in gekühltem noch erwärmtem Zustande irgendwie verändert.

Reinaluminiumapparatur erwies sich für Essigsäure bei gewöhnlicher Temperatur als recht dauerhaft. In der Hitze war sie jedoch nur beständig gegen Essigsäure zwischen 90 und 99,6 Proz.; verdünnte Essigsäure unter 90 Proz. und wasserfreie (Eisessig) griffen Aluminium an. Für Essigleitungen, namentlich für Spritessig in Konzentrationen von 1 bis 10 Proz., ist Aluminium nicht verwendbar. Für Frucht- und Speiseessig von 99 Proz. können jedoch Aluminiumgefäße unbedenklich auch zum Kochen benutzt werden. Nach neueren Feststellungen kann Reinaluminium auch für Kühlschlangen von Kältemischungen Verwendung finden, wenn man statt des ungünstigen Magnesiumnitrats eine Mischung desselben mit der gleichen Menge Calciumnitrat oder einer 24proz. Chlormagnesiumlösung als Kältelösung verwendet.

Aluminium wird auch weder von Bier noch von Hefe oder Würze angegriffen. In Gärbottichen zeigt es im Gegenteil eine schnelle Gewichtszunahme durch Bierstein, der sich aus oxalsaurem und phosphorsaurem Kalk, Eiweiß usw. glasurartig und glatt ansetzt und eine vorzügliche natürliche Isolation gegen das gärende Bier bildet. In kohlensäurehaltigen synthetischen Mineralwässern wurde Aluminiumblech 8 Wochen zu Versuchszwecken eingetaucht. Überraschenderweise wurde nicht die Spur eines chemischen Angriffs bemerkt.

Gezuckerte und ungezuckerte Spirituosen halten sich in Aluminiumgefäßen unbegrenzt lange. Sie greifen diese auch nicht

in nennenswertem Maße an. So blieben in ihnen ein als Versuchsflüssigkeit verwendetes Himbeerdestillat mit 49 Vol.-Proz. Alkohol und 0,18 Proz. Essigsäure, sowie ein Wacholderbranntwein an Geschmack und Aussehen völlig unverändert. Tafelsenf wird in Reinaluminiumtuben, die im Innern mit einem leichten Schutzlack versehen sind, mit bestem Erfolg zum Versand gebracht. Wie Versuche gezeigt haben, greift er auch blankes Tubenmetall nicht an.

Recht beständig verhält sich das Aluminium auch gegenüber der Weinsäure. Seine Beständigkeit nimmt sowohl in der Kälte, wie in der Wärme mit der Konzentration zu. Siedende Säure greift es jedoch an. In einem Weinflaß aus Eichenholz wurde eine Wärmeschlange aus Reinaluminium eingebaut, um in der kalten Jahreszeit die Wärme des Weines, der 0,5 bis 0,8 Proz. Säure enthielt, tunlichst nicht unter 15° C sinken zu lassen. Es gelang dadurch die Gärung stark anzuregen. Nachteile haben sich weder am Aluminium noch am Wein gezeigt.

Gering ist auch die korrodierende Wirkung der Jauche, einer mehr oder weniger ammoniakalischen Lösung organischer Zerfallsprodukte.

Recht unempfindlich ist Aluminium auch gegen organische Stoffe, sofern sie nicht sauren oder basischen Charakter haben. So bleiben Einwirkungen von reinen Paraffinen (Benzin), neutralen Fetten und Ölen ohne Einfluß. Auch die schwachen Säuren, die sich in den technisch verwerteten Harzen, im Stearin, im Ceresin und den Wachsarten finden, die Kopale und Lacke, die Alkohole, Äther, Ketone und Aldehyde, selbst Paraldehyd greifen das Metall nicht an. Kampfer blieb selbst bei zehnstündiger Einwirkung und Erwärmung auf 175° C ohne Einfluß. Auch Nitrocellulose und das Heer der praktisch wasserfreien Lösungsmittel greifen Apparate aus Reinaluminium selbst dann nicht an, wenn geringe Säuremengen (Essigsäure, Schwefelsäure) zugegen sind. Selbst Fettsäuren und Fettlösungen, die Eisen- und Holzbottiche mit innerer Verbleiung allmählich zerstören, können in Apparaten aus Reinaluminium mit Vorteil verarbeitet werden. Nicht brauchbar ist Aluminiumgerät jedoch für wasserfreie Kresole und Phenole. Sie zerstören es in der Siedehitze (140° C!) unter Wasserstoffentwicklung, wirken also ähnlich wie die mineralischen Laugen, während die Alkaloide Aluminium nicht beeinflussen, obwohl auch sie reaktionsfähige Hydroxylgruppen im Molekül enthalten. Phenolhaltige Urteeröle ergaben nach Untersuchungen des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Kohlenforschung unbegrenzte Haltbarkeit für Reinaluminiumgefäße. Andreas Hofer, der Leiter der Werkstatt für Feinmechanik an dem genannten Institut in Mülheim (Ruhr), empfiehlt als Spezialität Aluminiumschwelapparate, D. R.-G.-M., für Urteergewinnung nach

Prof. Franz Fischer v. Schrader und Laboratoriums-Dampf-überhitzer aus Aluminium, D. R.-G.-M., für Dampf, Gas und Flüssigkeiten nach Tropsch, die mit gewöhnlichen Bunsenbrennern betrieben, stündlich 3 kg Dampf von 370° zu liefern vermögen.

Ebensowenig ist Reinaluminium gegen wasserhaltige Kresole empfindlich.

Aluminiumapparate für Carbonsäure-Formaldehydgemische, die auf 102° C erhitzt wurden, haben sich gut bewährt. Bisher ausschließlich aus Silber hergestellte Feindestillierapparateile für Phenol sind seit zwei Jahren in Betrieb, ohne daß sie zu Beanstandungen Anlaß gegeben hätten. Bestens bewährt haben sich auch z. B. Transportgefäße für Formaldehyd. Sie werden seit Jahren verwendet, müssen Reisen von 3 Monaten aushalten und haben nie zu Beanstandungen Anlaß gegeben.

Die angeführten Beispiele mögen genügen, um den chemischen Charakter des Aluminiums zu kennzeichnen. Sie lehren vor allem, daß dieses chemisch so aktive Metall doch in überraschend vielen Fällen eine große Widerstandsfähigkeit gegen chemische Angriffe besitzt, die seine Verwendbarkeit auf dem weiten Gebiete der chemischen Industrie in ungezählten Fällen ermöglicht. Diese aufzuspüren und durch Versuche in ihrem Ausmaße sicherzustellen, ist eine wichtige Aufgabe der gegenwärtigen Aluminiumforschung. Und wenn es vielleicht auch niemals gelingen wird, ein so vollkommen säurefestes Edaluminium zu entdecken, wie es der Eisenforschung mit ihren Edelstählen, besonders dem Chromnickelstahl geglückt ist, so darf man doch hoffen, daß sich Aluminiumsorten finden lassen, die wenigstens gegen bestimmte aggressive chemische Stoffe eine spezielle Unempfindlichkeit an den Tag legen.

Die Verwirklichung dieser Hoffnung liegt auf dem weiten Gebiete der Aluminiumlegierungen.

Vierter Teil.

Die Aluminiumlegierungen.

Die leichten Aluminiumlegierungen.

Die Fähigkeit, sich zu legieren, ist eine besondere, wenn auch dem Grade nach recht verschiedene Eigenschaft aller Metalle. Auch das Aluminium besitzt sie.

Es besitzt sie sogar in hohem Maße, wenn man unter ihr lediglich die Fähigkeit versteht, sich in flüssigem Zustande — wie Äther und Alkohol oder Alkohol und Wasser — mit anderen Metallen aufs innigste und in jedem Verhältnis zu mischen und dann beim Abkühlen als scheinbar einheitliche, feste Masse zu erstarren.

Diese Fähigkeit ist beim Aluminium z. B. praktisch unbegrenzt dem Kupfer, Silber, Gold, Magnesium, Zink, Platin, Eisen, Kobalt und Nickel gegenüber.

Aber wie sich Wasser und Äther nur in begrenztem Umfang und Öl und Wasser überhaupt nicht mischen, so ist das Aluminium mit Zinn, Wismut, Mangan und Silicium nur begrenzt, mit Antimon, Cadmium und Blei überhaupt nicht mischbar.

Eine Legierung ist aber im allgemeinen etwas anderes als ein bloßes Gemisch. Wäre sie das, so müßten sich ihre Eigenschaften additiv aus den Eigenschaften ihrer Grundstoffe ergeben. Echte Legierungen zeigen aber vielfach ganz andere Eigenschaften als ihre Grundstoffe. Dies setzt voraus, daß die Grundstoffe entweder chemische Bindungen einzugehen oder sich derart innig zu mischen vermögen, daß sie beim Erstarren zu gleichartigen Mischkristallen zusammentreten. Die Legierungsfähigkeit des Aluminiums in diesem Sinne festzustellen ist gerade gegenwärtig eine Hauptaufgabe der Metallforschung.

Die verhältnismäßig bedeutende Mischbarkeit des Aluminiums mit anderen Metallen und einigen Metalloiden wurde schon von Wöhler¹⁾, dem oder besser einem der Entdecker des Aluminiums, erkannt und durch systematische Versuche erforscht. So schmolz er beispielsweise Aluminium und Magnesium unter einer Decke von Kochsalz zusammen und machte dabei die Beobachtung, daß gleiche Gewichtsteile beider Metalle eine zinnweiße, spröde und im Bruch splittige Masse liefern, von der sich Stücke bei Glühhitze ent-

¹⁾ Journ. f. prakt. Chem. 67, 493.

zünden und wie reines Magnesium mit weißer Flamme fortbrennen. Bei Anwendung von 4 Tln. Magnesium auf 1 Tl. Aluminium bildete sich z. B. eine halb schmiedbare Legierung, die in Wasser zu dünnen Metallblättchen zerfiel, ohne daß Wasserstoffentwicklung eintrat. (Die heutige Kenntnis dieser Verhältnisse zeigt allerdings, daß die von Wöhler angewendeten Metalle offenbar nicht rein waren.)

Im Jahre 1856 untersuchte A. Tissier (Ann. Chem. u. Pharm. 88, 253) eine Reihe von Aluminiumlegierungen. Unter anderem gibt er an, daß eine Legierung von 5 Tln. Aluminium mit 1 Tl. Kupfer Goldglanz besitze, und daß sie ungefähr die Härte des reinen Kupfers habe.

1858 erschmolz sodann A. Hirzel (Einladungsschrift zur Prüfung der öffentlichen Handelsschule zu Leipzig, 1858) etwa 30 Aluminiumlegierungen und beschrieb ihre Eigenschaften.

Auf eine wesentlich breitere Basis wurde das Studium der Aluminiumlegierungen gestellt, als zu Anfang der 90er Jahre des vorigen Jahrhunderts das Grundmetall begann, industrielle Bedeutung zu gewinnen. Nicht bloß die leichte Mischbarkeit, sondern ganz besonders auch die Überzeugung, daß sich gewisse Mängel des Aluminiums, seine mechanischen und chemischen Eigenschaften, seine Härte und Festigkeit, seine Dehnbarkeit und Elastizität, seine Bearbeitungsfähigkeit und Gießfähigkeit durch Legieren weitgehend verbessern lassen müßten, trieb zu immer neuen Versuchen an. Ohne Kenntnis der metallurgischen Eigentümlichkeiten des neuen Metalls wurde aber einfach alles verschmolzen, was zur Verfügung stand, und vielfach ohne Prüfung auf Brauchbarkeit zum Patent gemacht. Es war die Zeit des Argentaniums, Chromaliums, Nickeliums, Montaniums, Wolframiums, Cisiums, Titaniums, Zimaliums, Reformiums, Krauseliums, Weidriums, Partinums, Alzens, Acierals, Ziskons, Albidurs und anderer.

Diese Epoche der planlosen Empirie, die nur Zufallserfolge bringen konnte, wurde jedoch sehr bald durch das systematische Studium nicht nur der Aluminiumlegierungen, sondern der Legierungen überhaupt ersetzt. Legierungskunde im besonderen ist aber Metallkunde schlechthin, denn Reinetalle im absoluten Sinne des Wortes haben bei der großen Schwierigkeit ihrer Gewinnung nur untergeordnete technische Bedeutung. Auch das handelsübliche Reinaluminium hat infolge seiner allerdings ungewollten und zufälligen Beimengungen den Charakter einer Legierung.

Das Studium der Aluminiumlegierungen ist deshalb von dem Studium des Reinaluminiums in der Praxis gar nicht zu trennen. Nun sind die Zweistofflegierungen die theoretisch einfachsten Legierungen. Naturgemäß hat die planmäßige Metallforschung mit ihnen ihren Anfang genommen. In seinem Buche „Die binären

Metallegerungen“ hat K. Bornemann die Ergebnisse dieser Forschung durch sorgfältige Überarbeitung der weitverstreuten Literatur übersichtlich geordnet. Wenn nun auch die praktisch verwerteten Legierungen in den seltensten Fällen Zweistofflegierungen sind, so ist doch mit ihnen die theoretische Grundlage für die in der Technik praktisch verwerteten Drei- und Mehrstofflegierungen geschaffen. Viele von diesen sind geradezu abgeänderte Zweistofflegierungen, indem zu zwei Hauptbestandteilen ein oder mehrere zahlenmäßig stark zurücktretende Nebenbestandteile kommen, die die Grundeigenschaften der binären Hauptlegierung in bestimmter Weise abändern. Aluminium und seine Legierungen sind, wie alle Metalle und Metallkompositionen im festen Zustande, kristallin, d. h. Schlißflächen kompakter Stücke von ihnen lassen unter dem Mikroskop ein charakteristisches Kleingefüge erkennen, das sich als ein Konglomerat einheitlicher oder verschiedenartiger Kristallkörner darstellt.

Es ist ein wichtiges Ergebnis der neueren Metallforschung, die Möglichkeit erkannt zu haben, das Kleingefüge vieler Aluminiumlegierungen durch geeignete mechanische und thermische Behandlung weitgehend abzuwandeln und damit im technologischen Sinne vergüten zu können.

Die Methode zur Ermittlung der in einer binären Legierungsreihe vorliegenden physikalisch-chemischen Verhältnisse besteht nun darin, daß man durch Aufnahme von Abkühlungskurven die thermischen Kristallisationsdaten der Legierung ermittelt, aus denen man nach den Lehren vom heterogenen Gleichgewicht das Zustandsdiagramm ableitet. Dieses Schau- und Schmelzdiagramm läßt erkennen, bei welcher prozentualen Zusammensetzung und in welchem Temperaturbereich zwischen den Grundmetallen chemische Verbindungen oder Mischkristalle auftreten. An Hand der Schmelzdiagramme kann man schon heute die physikalisch-chemischen Verhältnisse einer Zweistofflegierung von bestimmter prozentualer Zusammensetzung voraussagen und wichtige Schlüsse über ihren technischen Wert ziehen. Die fortschreitende Entwicklung in Richtung der Drei- und Mehrstofflegierungen wird es möglich machen, auch die mutmaßlichen Eigenschaften einer Mehrstofflegierung auf der Grundlage genauer Kenntnis des Aufbaues der Legierungen vor ihrer Erschmelzung voraussagen zu können.

Eine wichtige Gesetzmäßigkeit hebt sich schon heute mit aller Deutlichkeit aus der Fülle der Beobachtungen heraus. Fast alle bisher bekannten, technisch wertvollen Legierungen sind feste Lösungen ihrer Grundstoffe. Weniger wertvoll im technologischen Sinne sind in der Regel die in einer Legierung auftretenden Verbindungen, wenn auch einige wenige Legierungen ihre wertvollen

technischen Eigenschaften gerade der Anwesenheit begrenzter Mengen von Verbindungen verdanken. Dem Metalltechniker, der nach neuen Legierungen für konstruktive Zwecke sucht, kann man daher als Regel empfehlen: Mischkristalle soll man suchen, chemische Verbindungen meiden.

Wie schon erwähnt, mischt sich Aluminium im flüssigen Zustande mit fast allen Metallen und mit sehr vielen in fast allen Verhältnissen. Demzufolge ist die Zahl der Legierungen, die Aluminium als wesentlichen Bestandteil enthalten, ungeheuer groß. Ihre auch nur einigermaßen erschöpfende Beschreibung würde über den geplanten Umfang dieses Werkes weit hinausgehen, zumal die Eigenschaft des Aluminiums, mit anderen Metallen im festen Zustande die technologisch wichtigen Mischkristalle zu bilden, leider nur wenig entwickelt ist. Es kann sich nur darum handeln, die technisch wertvollsten Legierungen, soweit sie bekannt sind, und die von der planmäßig arbeitenden Forschung, wie von der mehr empirisch vorgehenden Praxis gleich eifrig gepflegten neueren Anschauungen auf diesem Sondergebiet der Aluminiumforschung an Hand bewährter Gebrauchslegierungen und der neuesten Patente darzutun.

Die moderne Gußtechnik, sofern sie Aluminium verarbeitet, verbraucht es in Form von Legierungen. Weitaus das meiste Aluminium, das darf man behaupten, wird als Legierung verwendet. Es teilt hierin das Schicksal der anderen Nutzmanmetalle. Auch Eisen und Kupfer finden ebenso, wie Silber und Gold, als Legierungen ihre vorzugsweise Verwendung. Allerdings gilt auch von den technischen Aluminiumlegierungen, was vom Reinaluminium im besonderen galt: Will man Werkmetall von bestimmten ausgezeichneten Eigenschaften erzielen, so muß man von möglichst reinem, in seiner Beschaffenheit bekanntem Material ausgehen. Gleichwohl benutzt man beim Erschmelzen von Aluminiumlegierungen in ausgedehntem Maße billiges Altmaterial. Ist dieses einheitlich legiertes oder reines Aluminium, so ist ein gutes Gießergebnis zu erwarten. Anders liegen jedoch die Verhältnisse, wenn die verschiedenartigsten Abfälle eingeschmolzen worden sind. Ein solches Schmelzgut wird sich schließlich in keiner Weise zu einer brauchbaren Legierung aufarbeiten lassen. Diesen Weg geht aber allmählich alles Aluminium, und da man noch keine Methoden besitzt, die derartiges Altaluminium auf wirtschaftlich durchführbare Weise in den Metallkreislauf zurückführen, so wird es sich empfehlen, den Weg vom Reinmetall bis zum unbrauchbaren Altmaterial dadurch zu verlängern, daß man die verwirrende Fülle der in ihren technischen Eigenschaften oft wenig verschiedenen Gebrauchslegierungen zu typisieren und normalisieren sucht.

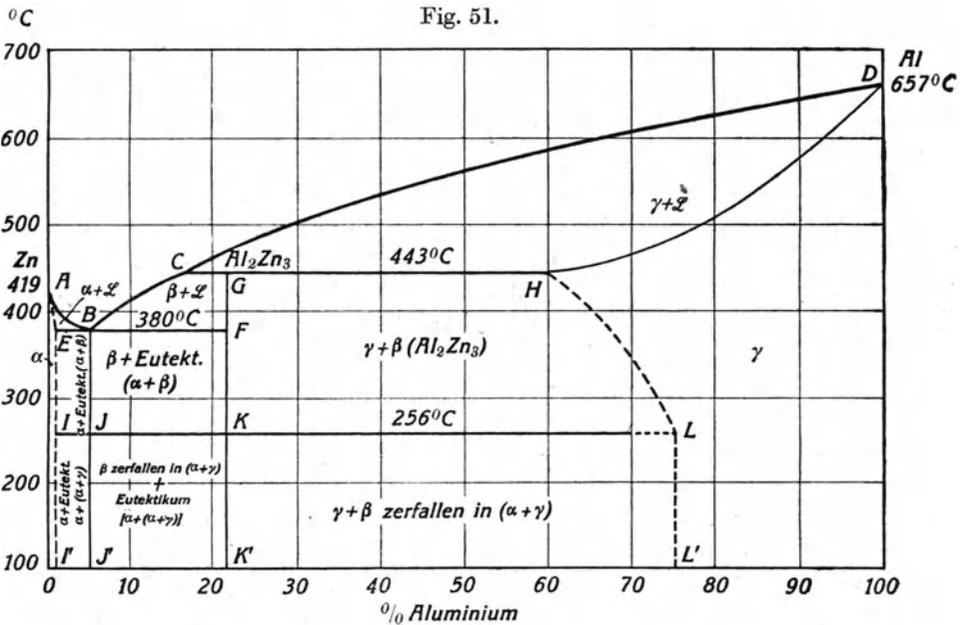
Diesen Bestrebungen dient auch der deutsche Normierungsvorschlag für Aluminiumlegierungen. Er erwähnt 1. veredlungs-

fähige Aluminiumlegierungen vom Typ des Duralumins mit z. B. 95,5 Proz. Aluminium, $\frac{1}{2}$ bis 3 Proz. Kupfer, $\frac{1}{2}$ Proz. Magnesium, 0,5 bis 0,8 Proz. Mangan; 2. Kupfer-Aluminium mit 2 Proz. Kupfer für Stangen, 4 Proz. für Preßteile, 8 Proz. für Drähte, Bleche, Bänder, Profile und 8 bis 10 Proz. als Gußlegierung für Teile von Automobilen, Flugzeugen, Apparaten, Eßbestecken usw. Ferner nennt er 3. ternäre Kupfer-Zink-Aluminiumlegierungen mit 8 bis 10 Proz. Zink, bis zu 5 Proz. Kupfer und den Restprozenten Aluminium für Preß-, Walz-, Zieh-, Schmiede- und Gußzwecke und 4. Dreistofflegierungen aus bis zu 5 Proz. Zinn, bis zu 8 Proz. Kupfer und dem Rest von 87 und mehr Prozent Aluminium zu Stangen für Automaten, Zünderkörper und Automobilteilen. Auch 5. binäre Nickelalumine mit 1,5 bis 10 Proz. Nickel, geeignet für Bleche, Hohlkörper, Bänder, Stangen, Profile, Rohre, Drähte, dickwandige Gefäße ohne besondere mechanische Beanspruchung, die der Oxydation ausgesetzt sind und daher von den zwar festeren, aber chemischen Angriffen zugänglicheren Zink- und Kupferaluminen nicht angefertigt werden können. Schließlich sind in dem Normblatt außer dem 6. Magnesium-Aluminium mit 1,5 Proz. Magnesium die interessanten 7. Aluminium-Magnesiumlegierungen vom Typ des Elektrons aufgenommen, die das Aluminium neben Zusätzen anderer Metalle in Beträgen bis zu 10 Proz. enthalten. Es fehlt in dem Normblatt das Silumin, eine aussichtsreiche Gruppe vergütbarer Silicium-Aluminiumlegierungen mit 11 bis 14 Proz. Silicium, die als Ergebnis neuerer, hauptsächlich von dem Metallaboratorium der Metallbank und Metallurgischen Ges. A.-G., Frankfurt a. M., durchgeführter Forschungen besonderes Interesse verdienen.

Während Duralumin das beste, freilich relativ teure Konstruktionsmaterial liefert, aber nicht gießfähig ist, wird im Silumin eine ausgezeichnete Gußlegierung auf den Markt gebracht, deren weitester Verbreitung zurzeit nur der relativ hohe Preis entgegensteht. Die in der Aluminiumindustrie gebräuchlichsten Gußlegierungen sind zurzeit die mit Kupfer- bzw. Zinkzusätzen, von denen die „Amerikanische Legierung“ mit 8 Proz. Kupfer und die „Deutsche Legierung“ mit 10 Proz. Zink und 2 Proz. Kupfer am verbreitetsten sind.

Die Legierungsverhältnisse im System Aluminium—Zink sind besonders eingehend von englischen und deutschen Forschern untersucht worden. Das Zustandsdiagramm, wie es sich auf Grund der Abkühlungskurven und der metallographischen Untersuchungen an abgekühltem, ausgeglühtem und abgeschrecktem Material ergibt, ist durch Rosenhain und Archbutt (Inst. of Metal) aufgestellt und neuerdings von Vogel und Bauer (Mitt. d. Materialprüfungsamtes 1915) überprüft und berichtigt worden (s. Fig. 51).

Oberhalb des Linienzuges $ABCD$ ist alles flüssig, unterhalb $AEBFGHD$ alles fest. Im Raume β findet sich die von Rosenhain und Archbutt entdeckte Verbindung Al_2Zn_3 . Die maximale Löslichkeit des Aluminiums für Zink beträgt 40 Proz. (γ -Mischkristall). Mit sinkender Temperatur verringert sich die Löslichkeit (HL). Bei $256^\circ C$ beträgt sie nur noch 25 Proz. Die maximale Löslichkeit des Zinks für Aluminium beträgt nur 0,75 Proz. (α -Mischkristall). DC entspricht der primären Ausscheidung von Al_2Zn_3 - β -Mischkristallen aus der flüssigen Schmelze. Die Zusammensetzung der γ -Mischkristalle ändert sich während der Abkühlung entsprechend dem Kurven-



zug DH . Bei $443^\circ C$ setzten sich die γ -Mischkristalle von der Zusammensetzung H mit der noch vorhandenen Schmelze von der Zusammensetzung C zu der neuen Kristallart G mit 21,65 Proz. Aluminium um. Längs CB scheiden sich β -Kristalle aus. Längs AB erfolgt primäre Abscheidung der α -Mischkristalle. Bei EBF erstarrt das Eutektikum ($\alpha + \beta$). Bei $256^\circ C$, längs $IJKL$, erfolgt der Zerfall der β -Kristalle (Al_2Zn_3) zu α - γ -Mischkristallen. Dieser Zerfall der spröden intermediären Kristallart bei der Abkühlung ist von großer technischer Bedeutung, weil er ein feinkörniges Eutektoid in einem weiten Mischungsbereich erzeugt. Erst bei 50 Proz. Zinkzusatz erreichen Elastizität und Bruchfestigkeit ihre obere Grenze. Dabei besitzen die Legierungen gute Dehnbarkeit und Reckbarkeit. Sie eignen sich zum Walzen und Pressen und

zeigen auch sowohl im Sand-, wie im Kokillen- und Spritzguß gute Festigkeitseigenschaften, die sich durch bestimmte thermische und mechanische Behandlung noch beträchtlich steigern lassen. Die Veredlungsversuche verfolgen im allgemeinen die Idee, die unterhalb 256°C instabile Verbindung Al_2Zn_3 zum Zerfall zu bringen. So wird nach Ledebur eine Legierung mit 90 Proz. Zink und 10 Proz. Aluminium oberhalb der genannten Temperatur abgeschreckt und hierauf erneut bis nahe unterhalb 256°C längere Zeit erwärmt. Dadurch wird die Umsetzung der β -Kristalle in die geschmeidigeren $\alpha + \beta$ -Mischkristalle ermöglicht. Infolge der in einer festen Lösung vorhandenen großen inneren Reibung erfolgt diese Umwandlung sehr langsam, so daß sich durch Änderung der Abkühlungskurve die Härte und Sprödigkeit einerseits, die Zerreißfestigkeit und Dehnbarkeit andererseits innerhalb der gezogenen Grenzen weitgehend ändern kann. Ein typisches Beispiel hierfür bietet D. R.-P. 318346, 1917, der Hedderheimer Kupferwerke A.-G. Es handelt sich um eine Legierung aus 70 Proz. Zink und 30 Proz. Aluminium. Bei 200°C zu Stangen gepreßt, auf 240°C erhitzt und langsam gekühlt, besaß sie eine Festigkeit von 24 kg/qcm, eine Dehnung von 20 Proz. und eine Kerbzähigkeit von 1,5 mkg/qcm. Wurde das gleiche Material bei 20°C erneut gepreßt, jedoch nicht weiter thermisch behandelt, so sanken die erwähnten Werte auf 0,8 Proz. ihres vorherigen Betrages. In einem zweiten Arbeitsgange wurde entsprechendes Material bei 120°C gepreßt, bei 300°C erhitzt und langsam abgekühlt. Man erhielt eine Festigkeit von 25 kg/qcm, eine Dehnung von 21 Proz. und eine Kerbzähigkeit von 1,4. Der Patentanspruch lautet: 1. Form: Erhitzen auf Temperaturen oberhalb 150°C und nach mechanischer Bearbeitung erhitzen auf Temperaturen zwischen 150°C und der Umwandlungstemperatur der Verbindung Al_2Zn_3 (im binären System 256°C). 2. Form: Thermische Nachbehandlung oberhalb des erwähnten Umwandlungspunktes und langsames Abkühlen.

Der Hauptmangel der durch gute Bearbeitungsfähigkeit, bemerkenswerte Festigkeit und billigen Preis ausgezeichneten binären Aluminium-Zinklegierungen ist die verhältnismäßig geringe chemische Widerstandskraft, die namentlich dann bedenklich wird, wenn die Grundstoffe durch Spuren fremder Metalle verunreinigt sind. So scheinen besonders gleichzeitig vorhandene Zinn-Bleispuren die Neigung zur Zersetzung zu befördern. Man hat vielfach mit Erfolg versucht, nicht nur durch sorgsam porenfreien, dichten Guß, sondern auch durch Einführung bestimmter Zusatzmetalle in die Grundlegierung die chemische Angreifbarkeit zu verringern. So gelangten Basse und Selve (P. 112546, 1899) dadurch zu einem guten Material, daß sie bei Zinkzusätzen über 12 Proz. einige Prozent Eisen hinzu-

fügen. Die Maschinenbauanstalt Humboldt, Köln-Kalk, führt eine Vorlegierung aus Mangan, Eisen, Silicium, Aluminium und Magnesium der Grundlegierung zu und will zufolge P. 297191, 1915, Zusatz zu P. 296780, Festigkeit und Kleingefüge wesentlich verbessert haben. Eine gute Gußlegierung soll nach Th. Goldschmidt A.-G., Essen, D. R.-P. 301786, 1916, dadurch erhalten werden, daß einer Zinklegierung mit 6 Proz. Aluminium weniger als 2 Proz. Mangan zugefügt werden, wodurch jede Lunkerbildung und Seigerung beseitigt wird. Th. Abraham Bayliss, Warwick, und Byron G. Clark, Kensington (England), setzen (P. 272492, 1913) zu 80 bis 99 Proz. Al 19,999 bis 0,1 Proz. Zink und 0,001 bis 0,9 Proz. Cadmium und wollen dadurch eine besonders zähe und schiedbare Legierung erhalten haben, wie sie umgekehrt (P. 260484, 1912) eine Zinklegierung von 99,1 bis 99,9 Proz. Zink, 0,001 bis 0,9 Proz. Aluminium und 0,01 bis 0,9 Proz. Blei empfehlen.

Besonders häufig findet sich aber als dritter Bestandteil das Kupfer. Wie die „Tafel moderner technischer Aluminiumlegierungen“ (S. 208 bis 215) zeigt, ist das System Aluminium—Zink—Kupfer vor allem in der englischen Industrie häufig angewendet worden.

So empfiehlt die National physical laboratory die billige, besonders für Kolben in Verbrennungsmotoren geeignete, einen sehr scharfen sauberen Guß ermöglichende sogenannte Legierung A, auch Legierung 3/20, d. h. bei 77 Proz. Aluminium 3 Proz. Kupfer und 20 Proz. Zink. Auch die Mehrstofflegierung E, bestehend aus 76,5 Proz. Al, 20 Proz. Zn, 2,5 Proz. Cu, 0,5 Proz. Mn und 0,5 Proz. Mg hat in England Anwendung gefunden. Für Kolbenguß ist sie allerdings weniger geeignet, da sich ihre Festigkeitseigenschaften bereits bei 250°C zu sehr verschlechtert haben. Pattison (Manufacture of Aluminium) bezeichnet als gebräuchlichste Al-Zn-Cu-Legierungen außer der genannten Legierung A eine solche mit 0,8 Proz. Kupfer und 12,5 Proz. Zink für harte, feste Platten, eine mit 1,5 Proz. Kupfer bei gleichem Aluminium- und Zinkgehalt für Zünder und eine mit 3 Proz. Kupfer und 13 Proz. Zink, viel verwendet für Motorteile, unter dem Namen „Cromil“ im Handel und fester als die binären Aluminium-Kupferlegierungen mit 2 bzw. 4 bzw. 6 Proz. Kupfer. Viel verbreitet ist in der englischen Industrie nach John G. A. Rhodin (Engineer 1921) die Legierung „5“ mit 84 Proz. Aluminium, 12 bis 15 Proz. Zink und entsprechenden Mengen Kupfer, deren Zugfestigkeit mit 20,3 kg/qmm angegeben wird.

In Deutschland hat allein die bereits erwähnte, als „Deutsche“ bekannte Aluminiumlegierung mit 10 Proz. Zink und 2 Proz. Kupfer Verbreitung gefunden.

Erwähnt möge noch die ternäre Al-Cu-Zinklegierung mit 4 bis 6 Proz. Kupfer und 2 bis 3½ Proz. Aluminium werden, die als

„Spandauer Legierung“ in den Kriegsjahren aufkam, einen billigen Messingersatz darstellt und sich innerhalb der Grenzen ihrer Festigkeit auch in der Massenherstellung gut bewährt hat, wenn auch ihre je nach Erstarrung und Korngröße zwischen 9 bis 14 kg/qmm schwankende Zerreißfestigkeit und ihre fast 0 Proz. betragende Dehnung bei weitem nicht die entsprechenden Werte guten Messings erreicht. Ebenfalls im Kriege entstanden ist die aluminiumhaltige Zinklegierung „Tenax“, die als Spritzgumetall um ihrer günstigen Festigkeit und Gießfähigkeit willen noch heute von der Firma W. Bauer & Co., Berlin, in den Handel gebracht wird.

Sie wurde durch D. R.-P. 312761 im Jahre 1915 der Spiralbohrer-, Werkzeug- und Maschinenfabrik R. Stock & Co. A.-G., Berlin-Marienfelde, geschützt und ist von hoher Zerrei- und Schlagfestigkeit, geeignet für Buchsen, Lager, Geschoß- und Minenfhrungsbnder. Sie setzt sich aus 100 Tln. Zink, etwa 3 Tln. Kupfer und 5 Tln. Aluminium zusammen. Auf jeden Fall soll der Gesamtgehalt an Kupfer und Aluminium zwischen 6 und 8,5 Proz. liegen. Die höchsten physikalischen Eigenschaften hat man bei 2,8 Cu, 4,6 Al, 1,2 Pb und dem Rest Zink mit Spuren von Fe und Sn erzielt.

Der Zusatz des Kupfers zu den Aluminium-Zinklegierungen wirkt vor allem kornverfeinernd. Er härtet und verfestigt. Denselben Einfluß übt er auch in den binären Aluminium-Kupferlegierungen aus. Das Zustandsdiagramm dieses für die Industrie recht wichtig gewordenen Systems wurde von Bornemann nach den Arbeiten namhafter französischer und englischer Forscher, wie Le Chatelier, Guillet, Curry, Carpenter, Edwards und Gwyer zusammengestellt. Es ist sehr verwickelt. Nicht weniger als sieben Kristallarten hat man in ihm aufgefunden. Sicher nachgewiesen ist die Verbindung $AlCu_2$, die in zwei polymorphen Modifikationen auftritt. Industrielle Verwendung finden die Legierungen mit Kupfer bis zu 11 Proz. einerseits und 84 bis 100 Proz. andererseits. Den Legierungsbereich zwischen 16 und 84 Proz. Aluminium hat Dav. Stockdale (Inst. of Metal 1924) neuerdings untersucht. Er fhrt noch eine Verbindung $CuAl_2$ an, die sehr stabil und hart sein soll, in zwei polymorphen Modifikationen auftritt und sich weder im Aluminium noch im Kupfer löst. Silicium in kleinen Mengen wirkt aber deutlich auf das Gefüge ein, indem es Cu_3Si bildet. Die intermediären Legierungen sind alle weiß und so brüchig, daß sie trotz ihrer außerordentlichen Säurefestigkeit bisher keine industrielle Verwendung gefunden haben. Die englischen Forscher Jette, Phragmen und Westgren haben die binären Aluminium-Kupferlegierungen mit Röntgenstrahlen untersucht. Die Probestücke wurden unter einer Sodadecke erschmolzen und langsam gekühlt.

Die CuAl_2 -Kristalle waren tetragonal mit dem Achsenverhältnis 0,805. Das Elementarprisma war raumzentriert mit 4 Mol. CuAl_2 . Die Phase von 16 bis 25 Proz. Aluminium besaß kubisches Gitter. In der 16proz. Legierung enthielt der Elementarwürfel 52, in der 25proz. 49 Atome.

Die Legierungen mit einem Kupfergehalt unter 16 Proz., die ausgedehnte technische Verwertung finden, zeigen Schwindung und Lunkerung in ähnlichem Ausmaß wie Reinaluminium. Für Walzgut eignen sich nur die Legierungen mit einem Kupfergehalt bis zu etwa 4 Proz., die höheren Prozentgehalte wegen der steigenden Härte und Sprödigkeit nur als Gußmaterial.

Die Herstellung der Aluminium-Kupferlegierungen aus den Grundmetallen ist wegen des beträchtlichen Schmelzpunktsabstandes (Al 658°C , Cu 1083°C) nicht ganz einfach. Man stellt zweckmäßig zunächst die eutektische Legierung 33 Cu/67 Al her, deren Schmelzpunkt unter dem des Aluminiums liegt, und zwar gibt man das spezifisch schwerere, flüssige Kupfer zu dem flüssigen Aluminium und rührt kräftig um. Das starke Ansteigen der Temperatur drückt man durch Zugabe fester Aluminiummasseln nach Möglichkeit herab.

Wie sehr Aluminium-Kupferlegierungen durch die Art ihrer Erschmelzung übrigens beeinflußt werden, lehrt das Patent 335888, 1918, von Alfred Uhlmann. Er fand, daß man eine Legierung von ganz besonderen Eigenschaften erhält, wenn man von einer Legierung mit Kupfer-Aluminium im Atomgewichtsverhältnis ausgeht, zu dieser 3 Atomgewichte Aluminium zufügt und das Ganze bis 1050°C erhitzt. Während aber bei unmittelbarer Herstellung der Legierung CuAl aus den Grundmetallen eine weiße, mechanisch wenig leistungsfähige Legierung entsteht, die keinerlei Vorteile bietet, erhält man durch das beschriebene Verfahren ein Material von hellgoldgelber bis gelbbrauner Farbe mit einem Schimmer von Altgold, überaus hart und zäh, gegen mechanische Bearbeitung so widerstandsfähig, daß es sich nur schleifen läßt, vorteilhaft als Baustoff für Lager mit Beanspruchung durch höchste Umdrehungszahl. Daß im Feinbau der Legierung durch das eigenartige Verfahren beträchtliche Änderungen vor sich gegangen sind, lehrt auch ihr thermoelektrisches Verhalten. Während die gewöhnliche Legierung eine ThEMK von 300 Mikrovolt entwickelt, zeigt die Speziallegierung 820 Mikrovolt.

Die binären Aluminium-Kupferlegierungen, wie die der Aluminiumlegierungen überhaupt, hat man durch Zusätze kleinster Mengen hochschmelzender Elemente, wie Zirkon, Cer, Vanadium, Tantal, Thorium, Chrom, Molybdän, Wolfram, Mangan, Titan, Silicium und andere in eigenartiger Weise zu verbessern vermocht. Die kleinen Zusätze verfeinern das Korngefüge der Legierung und

gestatten eine Verbesserung der technischen Eigenschaften innerhalb weiter Grenzen und mit mannigfaltigster Abstufung. So wirken manche Zusätze härtend, andere verbessern die Dehnung oder erhöhen die Säurebeständigkeit. Die Ergebnisse des intuitiv schöpferischen Erfinders eilen hier vielfach noch der nach Gesetzmäßigkeiten schürfenden Wissenschaft voraus.

Wohldefinierte, in der Praxis bewährte Typen dieser Art sind die Legierungen mit 96 Proz. Al, 3,25 Proz. Cu, 0,5 Proz. Fe + Mn, 0,25 Proz. Mg und mit 92 Proz. Al, 3,7 Proz. Cu, 2,8 Proz. Ni, 1,2 Proz. Mn, 0,24 Proz. Ag, letztere unempfindlich gegen Chlorür und Schwefelsäure, geeignet für Geräte in Vulkanisier- und Gummifabrikanten, erstere sehr wetterbeständig, geeignet für Lagerböcke, Lagerkörper, Handradsäulen, Räder, Wellenleitungen usw. bei einer Festigkeit von 18 kg/qmm und einer Dehnung von 9 Proz.

Eine ähnliche Legierung ist durch Patent 231060, 1909, der „Le Ferro-Nickel“, Paris, geschützt, die bemerkenswerte mechanische Eigenschaften haben soll (Zerreißeigenschaft 28 kg/qmm, Dehnung 16), dabei dauerhafter als Aluminium, heller und glänzender als dieses, leicht bearbeitbar, an Stelle von Messing, Kupfer, für gewisse Zwecke selbst als Ersatz für Eisen und Stahl verwendbar sein soll. Die Legierung besteht aus: 94 bis 98 Proz. Al, 1,5 bis 4 Proz. Cu, 0,25 bis 1,25 Proz. Mn, 0,25 bis 1,25 Proz. JAg. Nahe verwandt ist ihr die Legierung des Franzosen Esnault-Pelterie, D. R.-P. 230095, 1909, bestehend aus 80 bis 90 Proz. Al, 5 Proz. Ag und 5 Proz. eines Metalles der Eisengruppe (Kupfer, Nickel, Chrom, Mangan). Die Nachteile der grobkristallinen Struktur, die durch die Metalle der Eisengruppe in Aluminiumlegierungen sehr leicht eintreten, sollen durch den Zusatz des Edelmetalles beseitigt werden. Es verhindert die Bildung großer Kristalle und macht die Legierung zäh und hart.

Sogar das in Reinaluminium so unerwünschte Eisen vermag in kupferhaltigen Mehrstoffaluminiumlegierungen zum wertvollen Legierungsbestandteil zu werden. Das Patent 393698, 1921, der Aluminiumindustrie A.-G. Neuhausen empfiehlt, in die bekannte binäre Al-Cu-Legierung 92/8 neben den üblichen die physikalischen Eigenschaften allgemein verbessernden Mn, Ni, Ti usw., 1 bis 4 Proz. Eisen einzuführen. Dadurch soll vor allem die Gießfähigkeit erhöht und das schädliche Nachsaugen verringert werden. Auch läßt sich die Legierung durch Ziehen und Walzen, sowie durch geeignete thermische Behandlung bemerkenswert vergüten (Zerreißeigenschaft bis 38 kg/qmm).

Eine neuere Legierung, die widerstandsfähig gegen Schwefelsäure und Cyanidlösungen sein soll, hat sich Gaston Jacquier, Transvaal, im D. R.-P. 244550, 1910, schützen lassen. Sie setzt sich zusammen aus 90 Proz. Al, 2 Proz. Bi, 6 Proz. Cu und 2 Proz. Si.

Ungemein widerstandsfähig gegen Oxydation und atmosphärische Einflüsse sollen nach den Überzeugungen ihrer Erfinder auch die Vielstofflegierungen D. R.-P. 272492, 1913, des Australiers Harry Ormiston und D. R.-P. 314999, 1918, Manhart, sein, weiterentwickelt in Pat. 351739, 1921, Siegmund Henlein und Ernst Molkentin, und Pat. 361982, Molkentin und Weitzel. Beiden Grundpatenten ist ein charakteristisches Verfahren geschützt, nach dem die Vereinigung der in ihrem Schmelzpunkt so verschiedenen Stoffe gelingen soll. Ormiston geht von einer sehr zusammengesetzten Salzschnmelze aus, die Natrium, Magnesium, Kupfer, Cadmium, Nickel und Quecksilber enthält. In die Salzschnmelze, die teils als Flußmittel wirkt, teils ihre metallischen Bestandteile an die Legierung abgibt, kommt geschmolzenes Nickel und Kupfer. In die flüssige Metallmasse werden zum Schluß Zinn, Blei und Aluminium in bestimmten Mengen eingebracht. Manhart und Genossen erschmelzen vorher eine Legierung aus 2,5 Proz. Cu, 1,250 Proz. Mangankupfer, 6 Proz. Zinn, 0,1675 Proz. Sb, 0,0375 Proz. Mg, 0,0375 Proz. Pottasche, 0,0125 Proz. S (letztere zwei als Reinigungsmittel). 10 Proz. dieser Vorlegierung geben sie zu 90 Proz. Aluminium. Später vereinigten sie 5 Proz. der Vorlegierung mit 95 Proz. Reinaluminium, auch fügten sie noch 0,5 Proz. Molybdän und 0,75 Proz. Chrom bei. Beide Verfahren lassen erkennen, daß die zweckmäßigste Vereinigung hochschmelzender Stoffe mit dem bei hoher Temperatur sich leicht oxydierenden Aluminium schwierig ist.

Die Erschnmelzung der auch in anderen Fällen gebrauchten Vorlegierung erfolgt vielfach aluminothermisch. Eine eigenartige Modifikation dieses Verfahrens findet sich in dem D. R.-P. 267477, 1911, von J. G. Mellen, W. Mellen und J. Veit, New York. Es ist dadurch gekennzeichnet, daß den geschmolzenen Metallen vor oder nach dem Zusatz des Aluminiums zusammen mit einem Flußmittel ein Sauerstoffträger zugesetzt wird, bei dessen Reaktion mit einem Teil des Aluminiums eine bedeutende Temperaturerhöhung (bis zu 1650° C) der ganzen Schnmelze hervorgerufen wird. Als Flußmittel verwenden die Erfinder Borax, als Sauerstoffträger Kaliumbichromat. Führt man das Aluminium erst nach Zugabe der Salze in die Metallschnmelze ein, so wird die Legierung goldähnlicher an Farbe und sehr widerstandsfähig gegen Salpetersäure, wird Aluminium vorher zugegeben, so wird sie schmiedbarer und dehnbarer. Nicht die Oxydationswärme des Thermitprozesses, wohl aber die hohe spezifische Wärme des Aluminiums sucht Max Loss, Reichenbrand-Chemnitz, nach Pat. 363137, 1921, beim Legierungsvorgang nutzbar zu machen, indem er die hochschmelzenden Stoffe in Form dünner Bleche anwendet, sie mit einer dünnen Aluminiumschicht versieht und erst dann in flüssiges Aluminium eintaucht.

Ein ganz besonderes Interesse beanspruchen die Aluminiumvierstofflegierungen, die außer Aluminium-Kupfer ein Schwermetall (Ni, Mn, Cr usw.) und Magnesium enthalten. Sie verkörpern die technisch wertvollsten Aluminiumlegierungen, die zurzeit bekannt sind.

Ihren Urtyp stellen die als Duralumin von den Dürener Metallwerken A.-G., Düren, Rheinland, in den Verkehr gebrachten Aluminiumlegierungen dar, deren Grundzusammensetzung ursprünglich außer Aluminium 3,5 bis 5,5 Proz. Cu, 0,5 bis 1,0 Proz. Mn und 0,5 Proz. Mg beträgt.

Duralumin ist noch heute nicht nur die beste deutsche Aluminiumlegierung mit hohem Aluminiumgehalt, sondern die hochwertigste Aluminiumlegierung überhaupt, die zurzeit bekannt ist. Nach interessanten Ausführungen des Direktors Beck von den Dürener Metallwerken ist das dem Duralumin zugrunde liegende Veredlungsverfahren keine zufällige Erfindung, sondern das Ergebnis jahrelanger Forschungsarbeit in einem mit den besten Einrichtungen ausgestatteten wissenschaftlichen Institut, der Zentralstelle für wissenschaftlich-technische Untersuchungen in Neubabelsberg bei Berlin, in dem der Erfinder, Dr. Alfred Wilm, Vorsteher der metallurgischen Abteilung war. Als die Zentralstelle 1909 einging, übernahm Wilm alle Patentrechte. Von ihm erwarben die Dürener Metallwerke A.-G. die aus dem damals erst angemeldeten und 1912 erteilten D. R.-P. 244554 sich ergebenden Herstellungsrechte für Deutschland, Skandinavien, Holland, Belgien und die Schweiz und ließen sich zugleich das Wort „Duralumin“ als Warenzeichen am 8. Oktober 1909 schützen. Erst danach (1910) erwarben Vickers Sons & Maxim, Ltd., London, vom Erfinder die Fabrikationsrechte für England, Frankreich, Spanien, Portugal und Italien. Aus diesen geschichtlichen Darlegungen erweist sich das Duralumin im Gegensatz zu irrigen Behauptungen ausländischer Fachblätter unzweifelhaft als deutsche Erfindung, als „Geschenk der deutschen wissenschaftlichen Forschung an die Metallindustrie aller Kulturstaaten“. Der Patentanspruch des auch für andere Aluminiumlegierungen so grundlegenden D. R.-P. 244554 lautet: Verfahren zum Veredeln von magnesiumhaltigen Aluminiumlegierungen, dadurch gekennzeichnet, daß die Legierungen nach der letzten im Laufe der Verarbeitung vorgenommenen Erhitzung Temperaturen von über 420° C ausgesetzt und nach etwaigen leichteren Formgebungen einige Zeit selbsttätiger Veredlung überlassen werden.

Universallegierungen, die alle von den Verbrauchern geforderten Eigenschaften in sich vereinigen, gibt es nicht. Deshalb werden auch mehrere Sorten von Duralumin hergestellt, die sich nur etwas im Kupfer- und Manganengehalt unterscheiden, aber alle den gleichen Magnesiumgehalt von 0,5 Proz. aufweisen. Kupfer und Mangan

erhöhen die Festigkeit, aber Mangan wirkt zugleich stark härtend. Da Duralumin infolge des Mangangehaltes an Biegsamkeit und Bildsamkeit gutem Flußeisen nachsteht, dem es in seinen sonstigen Eigenschaften gleichkommt, so ist der Zusatz von Mangan zu den Duraluminlegierungen begrenzt, was um so mehr zu bedauern ist, als die Eigenschaften der Wetterbeständigkeit und verhältnismäßigen Widerstandsfähigkeit gegen die Angriffe von Seewasser, die das Duralumin besitzt, durch höhere Mangangehalte gesteigert werden könnten. Als Gußmaterial zeigt Duralumin keine Eigenschaften, die es anderen Legierungen gegenüber wertvoller erscheinen ließen. Erst durch ein gründliches Durcharbeiten, wie Warm Schmieden, Warmwalzen und Warmpressen läßt sich die Veredlung vorbereiten, die durch die Schlußglühung und darauf folgendes Abschrecken in einem Salzbad aus Kali- und Natronsalpeter erreicht werden kann. Eine Kaltverarbeitung verringert die durch den Veredlungsprozeß gesteigerten technologischen Festigkeitseigenschaften. Erzeugnisse, wie Bleche, Rohre und Drähte, die kalt gewalzt oder gezogen werden müssen, können erst veredelt werden, wenn sie die richtige Dicke haben. Eine Steigerung der Festigkeit, allerdings auf Kosten der Dehnung, ist möglich durch leichte Kaltbearbeitung nach der thermischen Veredlung. Die besten Festigkeitseigenschaften gibt die nach der Schlußglühung eintretende Abkühlung, wenn sie sehr rasch erfolgt. Abkühlung in einer Flüssigkeit ist daher zweckmäßiger als Luftkühlung, die nur bei dünnwandigen Gegenständen am Platze ist.

In einer Zahlentafel der Festigkeitseigenschaften des Duralumins finden sich folgende Grenzwerte (Zeitschr. f. Metallk., April 1924): Streckgrenze + 20 Proz., bleibende Dehnung: 24 bis 35, Bruchspannung: 38 bis 47 kg/qmm, Dehnung: 10 bis 20 Proz., durchschnittliche Querschnittsverminderung: 18 bis 26 Proz., Kerbschlagfestigkeit: 88 bis 158 cmkg/qcm, Kugeldruckhärte Brinell: 115 bis 128, Elastizitätsmodul: 165 000 bis 740 000. Außer diesen grundlegend wichtigen Festigkeitseigenschaften kommen dem Duralumin noch folgende physikalische und Arbeitseigenschaften zu:

Sein spezifisches Gewicht ist mit 2,8, sein Wärmeausdehnungskoeffizient mit 0,000026 nur wenig höher als die entsprechenden Daten des Reinaluminiums. Seine elektrische Leitfähigkeit beträgt nur 35 Proz. der Leitfähigkeit reinen Kupfers. Die günstigste Schmiedetemperatur liegt bei 470° C, der Temperatur, bei der aufgestreute Sägespäne zu glimmen beginnen. Das Treiben, Drücken, Ziehen und Biegen veredelten Duralumins ist verhältnismäßig schwierig. Auch Gesenkarbeiten erfordern mehr Operationen als Messing und Flußeisen, da Duralumin schwerer fließt. Scharfe Ecken sind unbedingt zu vermeiden. Bei 300 bis 350° C ausgeglühtes

Duralumin läßt sich dagegen leichter bearbeiten, doch ist eine Nachbehandlung des fertigen Gegenstandes erforderlich. Wird das Metall über 180°C erwärmt, so verliert es an Festigkeit. Bei 300 bis 350°C verringert sie sich um 50 Proz. Dies ist auch der Grund dafür, daß Duralumin besser nicht geschweißt oder gelötet, sondern nur genietet oder verschraubt wird. Durch die beim Löten und Schweißen eintretende unvermeidliche hohe Erhitzung erhält die Nahtstelle Gußstruktur unter Wegfall der durch die Veredlung erreichten Festigkeitswerte. Das Nietmaterial muß möglichst die gleiche Zusammensetzung haben wie das Material der Bleche, weil sonst leicht bei Befeuchtung mit Seewasser und dergleichen eine galvanische Zerstörung der Nietköpfe eintritt. Chemischen Einflüssen gegenüber verhält sich Duralumin vielfach anders als Reinaluminium. So ist es z. B. unempfindlich gegen Quecksilber, das Reinaluminium bekanntlich zerstört. Süßwasser greift Duralumin nicht an, Seewasser sehr wenig. Eisen in Verbindung mit Duralumin schützt dieses, während es selbst angegriffen wird. Duralumin eignet sich auch für Kochgeschirre. Eingehende Untersuchungen haben ergeben, daß es nicht gesundheitsschädlich wirkt. Giftige Salze entstehen trotz des Kupfergehaltes nicht. Atmosphärischen Einflüssen widersteht es, wie jahrelange Versuche erwiesen haben, ausgezeichnet. Bei tiefen Temperaturen steigt die Festigkeit beträchtlich. So betrug sie bei -190°C 53 kg/qmm gegen 42 bei Zimmertemperatur und die Dehnung 29 statt 22 Proz. Die Kerbzähigkeit blieb unverändert. Ermüdungsversuchen gegenüber verhielt es sich weit besser als Flußeisen, verdichtete Phosphorbronze, 92 Cu/ 8 Sn, und Tombak, 72 Cu/ 28 Zn. Das sind Eigenschaften, die seine Eignung für Flugzeug- und Luftschiffbau erweisen. Seit Frühjahr 1914 ist es deshalb der ausschließliche Baustoff im Luftschiffbau Zeppelin wie im Metallflugzeugbau (Junkers). Für Pleuelstangen an Verbrennungsmotoren hat sich Duralumin ausgezeichnet bewährt. Es wird für diese wie auch für andere Teile im Motorenbau, für Karosserien und Untergestelle, für Herstellung von Bootskörpern usw. im großen abgesetzt. Vielfach Verwendung findet es auch im Zentrifugenbau, in der elektrischen, der optischen und orthopädischen Industrie, in der Turnergeräteindustrie, im Kompressorenbau, im Zündmaschinenbau, bei der Herstellung von Rettungsapparaten, von Bijouterien und vielerlei anderen Dingen. Nicht besser als hierdurch kann die außerordentliche Bedeutung des durch D. R.-P. 244554 geschützten Verfahrens für die Technik erwiesen werden. Gewinnt das Duralumin seine hervorragenden Eigenschaften, wie schon erwähnt, auch erst durch ein besonderes Veredlungsverfahren, so besitzt es doch schon vorher recht gute Festigkeitseigenschaften, die durch zwei- bis dreimaliges Umschmelzen

so weit verbessert werden können, daß es in diesem Zustande für Kochgeschirre und andere Gegenstände, die nicht höchsten Ansprüchen an Festigkeit entsprechen müssen, besser genügen kann als manche andere für diese Zwecke verwendete Legierung. Diese Tatsache macht es möglich, Duraluminabfälle durch einen einfachen Gießprozeß nutzbringend zu verwerten, ein Verfahren, das der Zeppelinwerft und dem Erfinder Max Losch, Friedrichshafen, durch D. R.-P. 362911, 1921, geschützt worden ist.

Der durchschlagende Erfolg dieser wundervollen deutschen Legierung hat naturgemäß die Aluminiumforscher aller Nationen angereizt, auf dem von Wilm entdeckten Wege weiter voranzuschreiten, um zu womöglich noch besseren Lösungen zu gelangen:

In der Tat sind auch eine ganze Anzahl englischer, amerikanischer, französischer und russischer Legierungen in den letzten Jahren patentiert worden, die unverkennbar Duralumincharakter besitzen. Es sind aber sämtlich nur wenig differenzierte Nachbildungen des deutschen Grundpatentes. Eine Legierung, die dem Duralumin technisch oder auch nur wirtschaftlich überlegen wäre, ist dabei noch nicht herausgekommen. So wird in englischen Blättern viel erwähnt die geheimnisvoll „Y“ genannte Legierung mit, wie neuerdings bekannt geworden ist, 92,5 Proz. Al, 4 Proz. Cu, 2 Proz. Ni und 1,5 Proz. Mg, mit einer Zerreißfestigkeit von 20 bis 40 kg/qmm und 2 bis 24 Proz. Dehnung, je nach vorausgegangener Vergütung durch Wärmebehandlung. Es handelt sich bei ihr um eine Hartgußlegierung. Bestimmend für ihre Qualität ist das Maß der Abschreckung¹⁾, wie es durch die Temperatur und das Volumen der Form, ihre spezifische Wärme und Wärmeleitfähigkeit bedingt ist. Ihre Festigkeitseigenschaften sollen bis 200° C nahezu konstant bleiben, was sie für Kolben von Explosionsmotoren besonders geeignet macht.

Nahe verwandt mit ihr ist die Gußlegierung des Amerikaners Lavandeyra, D. R.-P. 363130, 1920: 6 bis 8 Proz. Cu, 1 bis 2 Proz. Ni, 0,25 bis 1 Proz. Mg und den Restprozenten Al. Der Erfinder ersetzt Nickel bis zu 0,5 Proz. auch durch Kobalt, vermeidet aber Silicium und Eisen. Die Verfeinerung der Kristallbildung will er durch Zusatz von 0,5 Proz. Zinn, die Verminderung der Porosität des Gusses durch Zusatz von 1 Proz. und weniger des als Fluß- und Reinigungsmittel wirkenden Cadmiums erzielen. Zur weiteren Erhöhung der Gießfähigkeit setzt er dem Schmelzgut noch bestimmte Mengen von Calciumfluorid, Holzkohle, Braunstein, Magnesiumsulfat und Arsensäure zu und vergütet den Fertigguß noch

¹⁾ Z. B. Legierung eben erstarrt, abgeschreckt im kochenden Wasser, in diesem bis Zimmertemperatur langsam erkalten lassen.

durch einen Wärmeprozess, bei dem das Material nach Erhitzen auf 500 bis 530°C 5 bis 15 Minuten in einem Ölbad und 1 bis 1½ Stunden unter Wasser abgekühlt wird. Die erreichte Festigkeit soll 25 kg/qmm, die Dehnung 1 bis 5 Proz. betragen. Ähnliche Eigenschaften besitzt auch die Aluminiummehrstofflegierung des gleichen Erfinders, Pat. V. St. 1365178, 1921, in welcher kleine Mengen Mn, Mg, Cu und Cr auf Al veredelnd einwirken.

Eine dritte Legierung dieses rührigen Erfinders ist als E. P. 159882, 1920, geschützt. Auch sie ist in Deutschland gar nicht erst zur Anmeldung gekommen. Sie besteht aus 95,8 Proz. Al, 3 Proz. Cu, 0,5 Proz. Mg und 0,7 Proz. Co und soll zum Zwecke ihrer Veredlung 10 bis 15°C oberhalb der Temperatur, bei der Kupfer in Lösung geht, erwärmt und danach im Ölbad abgeschreckt werden.

Auch das E. P. 195893, 1922, der Baush-Machine Tool Co. versucht sich in einer Legierung von Duralumincharakter. Sie setzt sich aus 94 Proz. Al, 0,5 Proz. Mg und Co und 5,5 Proz. Cu und Mn zusammen und wird durch Warmbehandlung bei 500 bis 550°C, Abschreckung und fünftägiger Legierung veredelt.

Von den hierher gehörenden neueren amerikanischen Legierungen seien erwähnt:

1. A. P. 1394534, 1917, Earl Blough, eine Al-Cu-Legierung mit < 10 Proz. Cu und Zusätzen von Mg und anderen Metallen. Auch sie ist durch Erhitzen auf 400 bis 600°C mit nachfolgendem Abschrecken in kochendem Wasser veredlungsfähig.

2. A. P. 1472739, 1921, und A. P. 1472740, 1921, von Archer u. Jeffries, Aluminiumlegierungen, erstere ohne, letztere mit Cu, sonst beide mit Mg, mit oder ohne Mn, Co Ni, Mo, aber stets mit mindestens 0,5 Proz. Si. Auch sie sind durch eine entsprechende Wärmebehandlung veredlungsfähig.

In gleicher Richtung bewegen sich die Gedanken der Erfinder zweier französischer Patente.

1. F. P. 560992, 1921 (E 190996) von Heyer, Paris, empfiehlt Aluminium zu legieren mit 4,25 Proz. Cu, 0,79 Proz. Mg, 0,8 Proz. Mn und 0,24 Proz. Pb + C und

2. F. P. 540383, 1921, L'Aluminium Français, setzt zum Grundmetall Aluminium 3 bis 4 Proz. Cu, 1 bis 2 Proz. Mg und 0,75 bis 2 Proz. Si.

Wiederum erfolgt Ausglühen bei hoher Temperatur, Abschrecken und Lagern bei Zimmertemperatur oder künstliches Altern bei 300°C.

Endlich sei noch das jüngst in Deutschland bekannt gewordene Koltschagalumin (russische Firma) angeführt, das nach den Angaben des Erfinders Butalow neben dem Aluminium Ni und geringe Mengen Cu, Mn und Mg enthält. Es soll nach einem dem Dur-

aluminprozeß ähnlichen Verfahren und anschließende Kalthärtung durch Druck eine Festigkeit von 44,4 kg/qmm annehmen können.

Das Problem der Vergütung gewisser Aluminiumlegierungen, das durch die Wilmschen Entdeckungen an den heute als Duralumin bekannten Vierstofflegierungen, wie schon ausgeführt, zur Entdeckung verwandter Erscheinungen an Kupfer- und Zinklegierungen geführt hat, wird vermutlich für das Gesamtgebiet der Legierungskunde von Bedeutung sein.

Während aber bei anderen vergütbaren Aluminiumlegierungen Schwermetalle eine entscheidende Rolle spielen, muß mit Nachdruck betont werden, daß der Veränderungsprozeß bei Duralumin, unabhängig von der Gegenwart von Schwermetallen, lediglich durch die Höhe des Magnesiumgehaltes bedingt ist. Während bei einer Legierung mit $\frac{1}{2}$ Proz. Magnesium die günstigste Veredlungstemperatur bei 500^oC liegt, rückt sie bei 1 $\frac{1}{2}$ Proz. Magnesium bereits auf 550^oC und würde bei 2 Proz. schon jenseits von 570^oC liegen, bei der die Aluminiumlegierungen bereits anfangen zu erweichen. Ein derartiger Magnesiumgehalt kann also für ein Veredlungsverfahren nicht mehr in Frage kommen. Bezüglich der Härtewirkung des Magnesiums auf das Aluminium besteht eine ähnliche Beziehung wie zwischen Kohlenstoff und Eisen.

Das Wilmsche Veredlungsverfahren ist daher bei Zusatz minimaler Mengen Magnesium (0,25 Proz.) auch auf sogenanntes Reinaluminium anwendbar.

Weitergehende Forschungen haben nun gezeigt, daß es eine ganze Reihe von Zusätzen gibt, die Aluminium von 99 Proz. Feingehalt durch ein eigenartiges, zum Patent angemeldetes Verfahren der Warmhärtung zu vergüten vermögen. (Nach Druckschriften und Mitteilungen der Studien- und Verwertungsgesellschaft „Leichtmetall“, München.)

Derartige Zusätze sind außer Magnesium beispielsweise Sili-cium, Kupfer, Zink, Beryllium, Lithium, Calcium, die teils als solche, teils als Verbindungen mit Aluminium oder dessen Beimengungen oder auch untereinander mit dem Aluminium Mischkristalle besonderer Art zu bilden vermögen. Es sind Legierungszusätze, die mit Aluminium feste Lösungen bilden, und zwar mit bei fallender Temperatur abnehmender Konzentration des gesättigten Mischkristalles. Von der Stahlhärtung war bekannt, daß Entmischung solcher Mischkristalle die Möglichkeit der Härtung durch eine Glüh- und Abschreckbehandlung bietet. Es gibt nun Legierungen, die ebenfalls Mischkristalle der genannten Art enthalten, aber durch eine Glüh- und Abschreckbehandlung allein nicht gehärtet werden können. Dies ist erst möglich durch eine bestimmte langdauernde Wärmebehandlung bei niederen Temperaturen. Diese Erkenntnis hat zu der Entdeckung eines

neuen Typs eigenartiger Aluminiumlegierungen geführt, zu der Gruppe der schwach legierten „Aludurmetalle“, die, anfänglich von der Schweiz aus, neuerdings durch die Studien- und Verwertungsgesellschaft „Leichtmetall“ von München aus in die deutsche Industrie eingeführt und schon jetzt von verschiedenen Verbraucherkreisen als vorzüglich bezeichnet werden.

Kennzeichen der Aludurmetalle sind also erstens die härtbaren Legierungszusätze und zweitens die Vergütung durch Warmhärten. Der Patentanspruch lautet: „1. Verfahren zur Steigerung der Härte, Festigkeit und Bearbeitbarkeit mit schneidenden Werkzeugen von Metallen und Legierungen, dadurch gekennzeichnet, daß die gegossenen und rekristallisierten Metalle und Legierungen bei Temperaturen, die unterhalb der bisher üblichen, bei denen Herabsetzung der Festigkeit und Härte eintritt, liegen, mit oder ohne Ausschluß der Luft erhitzt werden, bis eine Steigerung der Härte eintritt. 2. Ausführungsform des Verfahrens, dadurch gekennzeichnet, daß die Wärmebehandlung für Aluminium und Aluminiumlegierungen mit vorwiegend Aluminiumgehalt unterhalb der Temperatur von 160° C erfolgt.“ In der Beschreibung heißt es dann weiter: „Nach dem vorliegenden Verfahren werden die Metalle und Legierungen für die Dauer einiger Stunden oder bis zu mehreren Tagen bei niedrigen Temperaturen, die unterhalb der bisher benutzten, sogenannten Anlaßtemperatur liegen, ausgesetzt, bis die gewünschte Härte erreicht ist. Diese Temperaturen für das »Warmhärten« wechseln für die einzelnen Legierungen und Metalle. Für aluminiumreiche Legierungen überschreitet die Temperatur in keinem Falle die Grenze von 160° C.“

Die Härtung durch Warmbehandlung, die so ziemlich das Gegenteil der Duraluminhärtung durch Abschrecken darstellt, konnte anfänglich mangels der allgemein gehaltenen obigen Angaben bei der Nachprüfung durch die Physikalisch-Technische Reichsanstalt nicht völlig erzielt werden. Es mehren sich aber die Stimmen maßgebender Fachleute (Prof. Guertler, Prof. Bauer), die die Wirksamkeit des neuen Verfahrens vollauf bestätigen können.

Den Aludurmetallen kommen nun Eigenschaften zu, die sie den besten Aluminiumlegierungen, selbst dem Duralumin, ebenbürtig, wenn nicht in besonderen Fällen überlegen erscheinen lassen. Ihre Bearbeitungsfähigkeit ist hervorragend. Bleche, Tafeln, Bänder, Drähte, Röhren, Rund- und Profilstangen lassen sich aus ihnen herstellen. Im Gegensatz zu Duralumin lassen sie sich für Formguß in Sand oder Kokillen verwenden, wobei die etwa reinem Aluminium entsprechende Gießfähigkeit für Präzisionsguß noch durch höhere Zusätze gesteigert werden kann, die zwar nicht zur Vergütung erforderlich sind, aber die Schwindung herabsetzen und, wie Graphit im Gußeisen, dem Aluminium heterogen beigemischt sind.

Im Gegensatz zu Duralumin, dem eine gründliche mechanische Vorbehandlung durch Pressen usw. unentbehrlich ist, bedarf die Aludurvergütung deren nicht unbedingt. Sie kann daher auch an Fertigguß mit Erfolg vorgenommen werden. Die Härtungstemperatur und -dauer (8 bis 12 Stunden bis zu 160°C) hängt von der jeweiligen Legierung ab und muß durch systematische Versuche ermittelt werden. Es ist diejenige niedrigste Temperatur, bei der die Vergütung in der kürzesten Zeit erfolgt. Die Unterschiede in den mechanischen Eigenschaften der verschiedenen Aludursorten sind in der Struktur begründet, wie sie durch unterschiedliche Bearbeitung entsteht. Sie tritt nicht bei der Härte, sondern der Festigkeit und Dehnung hervor.

Je nach Zusammensetzung und Bearbeitung der verschiedenen Aludurmetalle bewegen sich die fraglichen Qualitätsziffern zwischen folgenden Grenzen: Brinellhärte (Kugeldurchmesser 10 mm, Druck 150 kg) 40 bis 110, Zugfestigkeit 16 bis 50 und mehr kg/qmm, Bruchdehnung ($L = 11,3 \sqrt{f}$ Proz.) 4 bis 30, Elastizitätsmodul 6330 bis 7000 kg/qmm.

Außer der Härte- und Festigkeitssteigerung bei Erhaltung einer guten Dehnung ist ein besonderes Merkmal der Aludurmetalle die gute Bearbeitbarkeit durch Schneidwerkzeuge. Besondere Bedeutung gewinnen die Aludurmetalle dadurch für die Elektrotechnik, daß mit der Festigkeitssteigerung eine Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit verbunden ist.

Für manche Fälle im Instrumenten- und Apparatebau genügen Werkstoffe mit mittleren Festigkeiten, wenn nur ihre Bearbeitbarkeit (durch Drehen usw.) gut ist. Derartige Aludurmetalle sind in der Fabrikation billiger herstellbar. Das Warmhärten kann nach weitgehenden Formgebungen noch nutzbar gemacht werden. Es steht auch nichts im Wege, die Warmhärtung vor der Formgebung zum Teil auszuführen und nach dieser zu vollenden.

Ein Nachteil der Aludurmetalle ist es, daß bereits bei Dauererwärmungen über 100°C die Härte des Materials allmählich nachläßt. Schnelle Erweichung tritt bei Erwärmung über 200°C ein.

Atmosphärischen und chemischen Angriffen gegenüber verhält sich Aludur wie Reinaluminium bester Qualität, d. h. es gehört zu den chemisch widerstandsfähigsten Aluminiumlegierungen, die bekannt sind.

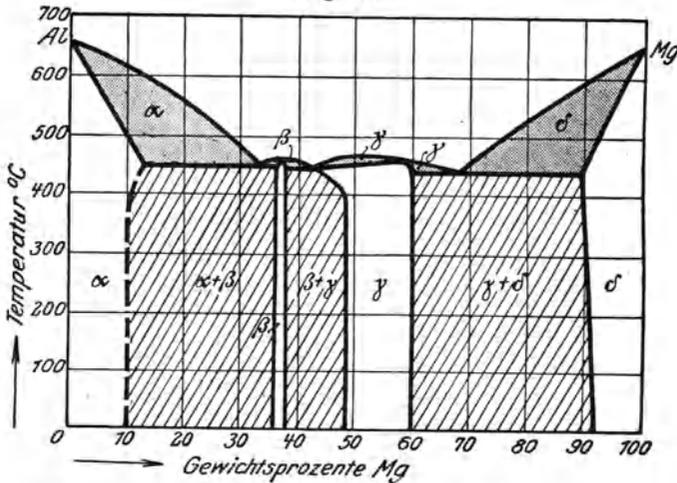
Bei Verbindung von Aludurteilen gewährt, ähnlich wie bei Duralumin, das Vernieten und Verschrauben die größte mechanische Sicherheit, doch läßt es sich auch löten und schweißen wie Reinaluminium.

Im Duralumin wie im Aludur üben außerordentlich geringe Zusätze an Magnesium ganz überraschende Veredlungswirkungen aus. Magnesium gibt aber auch, in höheren Prozentsätzen zugesetzt, in mancher Hinsicht bemerkenswerte Legierungen. Ihre technische

Wichtigkeit macht es erklärlich, daß das binäre System Aluminium-Magnesium weitgehend durchforscht ist.

Bei 54,5 Proz. Aluminium ist mit Sicherheit die chemische Verbindung Al_3Mg_4 nachgewiesen. Sie hat einen Schmelzpunkt von $462,7^\circ\text{C}$. Zwischen ihr und Magnesium besteht bei 32 Proz. Aluminium ein Eutektikum mit dem Schmelzpunkt 440°C . Etwas verwickelter sind die Verhältnisse auf der aluminiumhaltigen Seite des in Rede stehenden Systems. Das Diagramm (Fig. 51a), aufgestellt nach den Arbeiten von Bourdon und Grube und ergänzt durch eingehende Untersuchungen von Hanson und Gayler, lehrt vor

Fig. 51a.



Erstarrungsdiagramm.

(Nach Czochralski, *Moderne Metallkunde in Theorie und Praxis*.
Verlag von Julius Springer, Berlin.)

allem, daß ausgedehnte Gebiete von festen Lösungen im aluminiumreichen Gebiet einerseits, im magnesiumreichen andererseits bestehen. Es sind die Gebiete der technisch wertvollen Legierungen des Duralumins, sowie des Elektrons und Magnaliums, im Diagramm die Region der α - und δ -Kristalle. Legierungen mit gleichzeitigem Gefüge finden sich noch zwischen etwa 48 und 60 Proz. Magnesium (γ -Kristalle) und etwa 36 und 38 Proz. Magnesium (β -Kristalle). Die übrigen Legierungen dieses Systems zeigen im festen Zustande immer zwei Kristallarten im Gefügebild, so zwischen 10 und 36 Proz. Mg α und β , zwischen 38 und 49 Proz. β - und γ - und zwischen 60 und 92 Proz. γ - und δ -Mischkristalle.

Die Verbindung Al_3Mg_4 ist sehr spröde. Demzufolge sind Legierungen aus den mittleren Lagen des Systems technisch unbrauchbar. Nur Aluminiumlegierungen mit wenig Magnesium und um-

gekehrt Magnesiumlegierungen mit 10 Proz. und weniger Aluminium haben es, wie schon angedeutet, zu technischer Bedeutung gebracht.

Zwar hatte man große Hoffnungen auf ausgedehnte Anwendung von Legierungen gesetzt, in denen 100 Tln. Aluminium 10 bis 30 Tle. Magnesium zugemischt wurden, die nicht nur eine bessere Bearbeitbarkeit als Aluminium aufweisen, sondern auch noch beträchtlich leichter als dieses sind. Das von seinem Erfinder Ludwig Mach Magnalium genannte Leichtmetall von dieser Zusammensetzung (D. R.-P. 105502, 1898 und 107868, 1898) hat sich jedoch trotz seiner guten mechanischen Eigenschaften und trotz der Bemühungen der inzwischen wieder eingegangenen Magnaliumgesellschaft wegen seines geringen Korrosionswiderstandes nicht einzuführen vermocht. Daß die Magnesiumzusätze zwischen 10 bis 30 Proz. Magnesium zu hoch gegriffen waren, lassen die späteren Patente der Gesellschaft (Pat. 113935, 1899) erkennen, die schon mit 2 bis 10 Proz. Magnesium den gewünschten Effekt herbeizuführen behaupten. Zum erstenmal taucht hier auch der Gedanke der Vergütbarkeit von Aluminiumlegierungen auf, der später Wilm zu dem großen Erfolg des Duralumins führte. Das 1907 von Wilm angemeldete, allerdings bereits 1912 vom Reichspatentamt für nichtig erklärte, also wohl aus wirtschaftlichen Gründen nicht erfolgreiche Pat. 204543 deckt geradezu den geschichtlichen Zusammenhang auf, der zwischen Magnalium und Duralumin besteht. Schon Mach hatte in seinem verbesserten Magnalium Zusätze von Messing (Kupfer und Zink) empfohlen, immer aber mehr als 2 Proz. Magnesium als härtendes Metall für notwendig erachtet, während Wilm gerade Legierungszusätze unter 2 Proz. Magnesium in Al-Cu-Legierungen untersucht hat. Eine Abart des Machschen Magnaliums ist das Zimalium mit 100 Tln. Aluminium, 1 bis 10 Tln. Magnesium und 1 bis 20 Tln. Zink (D. R.-P. 141190). Es hat keine wirtschaftliche Bedeutung erlangt, wohl aber eine magnaliumähnliche Legierung mit 1,6 Proz. Mg, 95,48 Proz. Al, 1,16 Proz. Ni und 1,76 Proz. Cu, die die Westinghouse Company, Amerika, für Automobilteile und elektrische Apparate in so großem Umfange verbraucht, daß die wirtschaftliche Ausnutzung der wegen der Neigung zur Oxydbildung nur schwer einzuschmelzenden Magnaliumspäne für sie zur Notwendigkeit wurde. Die Lösung dieser Frage ist ihr denn auch gelungen. Sie beschreibt ihr neues Verfahren wie folgt: Reinigen der Späne mit Benzin. Waschen mit einer 4proz. Kochsalzlösung. Einbringen der noch feuchten Späne in einen auf 900°C vorgewärmten Schmelztiegel, und zwar anfänglich in kleinen Mengen. In das flüssige Metall bringt man nach und nach so viel gereinigte Späne ein, daß der Tiegel gefüllt wird. Das gut durchgeschmolzene Metall läßt man durch ein Bodenloch in die Formen laufen. Man vermeidet so die

erneute Verunreinigung mit den auf der Oberfläche schwimmenden Schlacken. Beim zweiten Umschmelzen zum Fertigguß gibt man noch wasserstoffentziehende Mittel, wie 1 Proz. Calcium oder 0,5 Proz. Calcium-Aluminiumsilicid zu.

Wie die Umschmelzung magnesiumhaltiger Späne nicht ganz einfach ist, so macht auch die ursprüngliche Erschmelzung von stark magnesiumhaltigen Aluminiumlegierungen nicht unbeträchtliche Schwierigkeiten. Ihnen sucht das Pat. 354937, 1919, der Metallbank und Metallurgischen Gesellschaft zu begegnen. Um die Erdalkalimetalle (Magnesium, Barium, Calcium usw.) mit Aluminium zu legieren, wird hiernach zunächst eine Zwischenlegierung erzeugt, deren Grundmetall im metallographischen Sinne nicht mit Aluminium legierbar ist, z. B. Blei. Zur Herstellung der Aluminium-Magnesiumlegierung gibt man die Bleilegierung zum flüssigen Aluminium. Das Magnesium geht in Lösung, und das Blei scheidet sich aus. Nach mehrmaligem Umschmelzen ist schließlich die Umlegierung praktisch vollständig geworden.

Eine Gruppe von Legierungen, in denen das Magnesium mit mehr als 90 Proz. Hauptbestandteil ist und die schon seit einer Reihe von Jahren vielseitige Anwendung in Industrie und Technik gefunden haben, sind in Deutschland unter dem Namen Elektron¹⁾ bekannt geworden. Die Zusammensetzung dieser Legierungen ist nicht einheitlich, steht wohl auch nicht völlig fest. Da aber außer Magnesium und wechselnden Zusätzen von Mangan, Zink usw. Aluminium ein anscheinend nie fehlender Bestandteil ist, so hat es Berechtigung, sie auch bei der Erörterung der leichten Aluminiumlegierungen mit zu erwähnen. Hergestellt werden diese Metalle von der Chemischen Fabrik Griesheim-Elektron. Sie waren schon 1909 auf der ersten internationalen Luftschiffahrtsausstellung in Frankfurt a. M. vorhanden. Die Elektronlegierungen sind mit einem spezifischen Gewicht von 1,73 bis 1,84 die leichtesten Nutzmehalle, die es gibt. Dabei besitzen sie überraschende Festigkeitswerte, wie nebenstehende Tabelle zeigt.

Die hervorragenden technischen Eigenschaften der Elektronmetalle werden leider durch eine allzu geringe chemische Widerstandskraft in ihrer umfassenden technischen Auswirkung stark behindert. Zwar sind sie im Gegensatz zu Reinaluminium durch alkalische Flüssigkeiten unangreifbar, auch gegen reine, nicht allzu starke Flußsäure halten sie sich überraschend gut. Gegen die übrigen Mineralsäuren, wie auch gegen selbst schwache organische Säuren sind sie jedoch außerordentlich empfindlich. Ebensowenig dürfen sie mit Salzlösungen in Berührung kommen. Besonders heftig

¹⁾ Vgl. die Druckschriften der Chem. Fabrik Griesheim-Elektron über Elektronmetall.

Festwerte der Elektronmetallelegierungen (nach Dr. Thomas).

	Zl Legierungen für Preß- stangen, Gesenkteile, Bleche, Drähte		AZ Guß- legierung	VI besonders harte und feste Legierungen für Verwendungen wie Zl (gepreßt)
	gepreßt	hartgewalzt		
Technische Festwerte				
Zerreißfestigkeit . . kg/qmm	26—28	29—32	12—15	34—36
Dehnung Proz.	18—22	2—3	2—4	34—36
Brinellhärte . . . kg/qmm	46—50	56—65	44,5	69—74
Shorehärte Grad	14—20	22—23	10—15	—
Kerbzähigkeit . . . kg/qcm	0,9—1,1	—	0,48	0,55—0,7
Scherfestigkeit . . kg/qmm	14—16	—	9,61	16
Reibungsziffer zu Gußeisen, trocken	0,25	—	—	—
fettig	0,05	—	—	—
Physikalische Festwerte				
Elektrische Leitfähigkeit .	16—18	—	15—16	—
Wärmeleitfähigkeit	0,32	—	0,32	—
Spezifische Wärme	0,24	—	0,24	—
Wärmeausdehnungszahl . .	0,000 026	—	—	—
Schwindmaß Proz.	—	—	1,10	—
Schmelzpunkt . . . Grad	635	—	630	—
Spezifisches Gewicht . . .	1,81	—	1,80	1,83

reagieren sie mit Chloriden und Sulfaten der Schwermetalle und des Ammoniums. Selbst die sehr verdünnten Salzlösungen, wie sie Fluß- und Leitungswsser darstellen, zerstören sie in kurzer Zeit. Trotzdem sind die Witterungseinflüsse, atmosphärische Niederschläge usw. ohne tiefgreifende Wirkung. Die Elektronmetalle berziehen sich nämlich wie Zink mit einer grauen Oxydhaut, die sie vor weiterem Angriff schtzt. In feuchter Luft verhalten sie sich daher besser als Eisen. Surefreie Öle und Fette, Benzin usw. schaden ihnen nicht. Eine Eigentümlichkeit dieser Leichtmetalle ist es, in feiner Verteilung mit Feuchtigkeit explosionsartig zu reagieren. Elektronstaubexplosionen sind zwar noch nicht bekannt geworden. Die Gefahr einer solchen scheint also nicht größer zu sein als die Staubexplosionen anderer brennbarer Stoffe. Immerhin könnte sich der durch Trockenschleifen oder durch Bearbeiten mit schnellaufenden Frsern entstehende Staub einmal entzünden. Rechtzeitiges Entfernen desselben oder Nabearbeitung mit wasser- und säurefreien len, Petroleum usw. wird diese Gefahr beheben. In ähnlicher Weise läßt sich die Selbstentzündung von Spänen unterbinden. Es kann vorkommen, daß Elektronspne, wie Aluminium- und Zinkspäne, in größeren Haufen der Witterung aus-

gesetzt, sich entzünden. Entfernen und Ersticken der Glut mit trockenem Sand wird hier jede weitere Gefahr rasch beseitigen. Trockene Späne, selbst ölhaltige, lassen sich ohne jede Gefahr in Eisenfässern aufbewahren und zum Wiedereinschmelzen versenden. Kompakte Stücke von Elektronmetall sind infolge ihres erst bei 650° C liegenden Schmelzpunktes und ihres noch höher liegenden Entflammungspunktes nicht als feuergefährlich anzusehen.

Nicht ungefährlich aber ist es natürlich, glutflüssige Elektronmetalle mit Wasser in Berührung zu bringen. Es in feuchte Sandformen zu gießen, ist daher wegen der hohen Explosionsgefahr nicht angängig. Doch durfte Verfasser sich selbst überzeugen, daß es der Herstellerin neuerdings gelungen ist, durch gewisse, SO₂ entwickelnde Zusätze zur Formmasse unter Ausschluß jeder Explosionsgefahr mit Sicherheit in sogenanntem „grünen“ Sand zu gießen. Eine Entzündung des Metalles an der Oberfläche tritt mit Anwendung des neuen Gießverfahrens nicht mehr auf.

Geeignete Salzschnmelzen als Schutzdecke gegen Oxydation oder als Flußmittel, um dadurch bei tieferer Temperatur gießen zu können, besitzt man leider noch nicht. Genaue Einhaltung der richtigen Gießtemperatur muß aber schon deshalb beachtet werden, weil das überhitzte Metall gierig Gase, besonders Wasserstoff, aufnimmt, wodurch das Gußprodukt porös und damit unbrauchbar wird. Eine genaue Kontrolle der Gießtemperatur durch Pyrometer ist daher allgemein üblich. Nach einem älteren Patent von Griesheim-Elektron (D. R.-P. 228 982, 1909) sorgt man dadurch für das möglichst restlose Wiederentweichen des aufgenommenen Wasserstoffs, daß man den Guß längere Zeit auf 640° C erhitzt. Ein Vorzug der Elektronmetalle für Guß ist ihr hohes Dehnvermögen. Eine nachträgliche Formänderung gegossener Stücke gelingt daher überraschend gut. Weniger günstig als z. B. Kupfer, Weichmessing und Aluminium sollen sie sich dagegen beim Pressen, Ziehen und Drücken verhalten. Doch konnte Verfasser die Herstellung von Stangen und Profilen durch Pressen bei etwa 250° C Erwärmung beobachten, die vorzüglich gelang.

Ein thermisches Härteverfahren gibt es bei den Elektronmetallen nicht, doch nimmt es durch geeignete Kaltbearbeitung hohe Härtegrade an, die man durch Ausglühen aber beliebig wieder beseitigen kann. Seine mechanische Bearbeitungsfähigkeit ist größer als bei anderen Nutzmanmetallen und, da man es durch Schutzanstriche gegen chemische Einflüsse in vielen Fällen sichern kann, ist es begreiflich, daß sich dieses in vieler Hinsicht hervorragende Leichtmetall in einer ganzen Reihe von Industriezweigen einen dauernden Platz gesichert hat.

So werden folgende Beispiele genannt: In der optischen und orthopädischen Industrie für Teile, die eine feinmechanische Bearbeitung erfordern. Im Kraftwagenbau für Motorgehäuse, im

Elektromaschinenbau für Wicklungsträger, Spulenhalter, Bürstenhalter, Zählerplatten, Ventilatorschaukeln, Preßplatten für Transformatoren und dergleichen. Ungeeignet sind die Elektronmetalle jedoch für Kontaktfedern, Lampenfassungen, Leitungsdrähte und ähnliche Zwecke. Auch für schnellaufende, feinmechanische Teile von Wirk-, Spinn- und Webmaschinen, wie auch beim Bau von Schreib- und Rechenmaschinen, Kontroll- und Registrierkassen haben die Elektronmetalle vielseitige Verwendung gefunden. Eine ganz neue Absatzmöglichkeit ist ihm endlich auf dem Gebiet der Explosionsmotoren erschlossen worden. Die Elektronmetalle, wie auch andere Aluminium- und Magnesiumlegierungen, haben ihre Brauchbarkeit für Kolben von Explosionsmotoren erwiesen. Die Entscheidung des Preisgerichts für den vom Reichsamt für Luft- und Kraftfahrwesen im Jahre 1921 ausgeschriebenem Wettbewerb brachte der Firma Griesheim-Elektron für einen Elektronmotorkolben aus 88 Proz. Mg und 12 Proz. Al den vierten und für einen allerdings aluminiumfreien Magnesium-Kupferkolben (13 Proz. Cu) sogar den ersten Preis. Die Elektronmotorkolben mit ihrem ganz außerordentlich geringen Gewicht bringen dem Motorenbau im Vergleich zu den eisernen Kolben durch die Gewichtsverminderung der schwingenden Teile große Vorzüge, wie Kraftsteigerung, Verringerung der Lagerdrucke und der Schwingungen des Motors, höhere Umlaufzahl, und deren schnellere Steigerung. Dazu kommen die günstigen Wärmeleitkoeffizienten der Leichtmetalle, die eine Verbesserung der Wärmeleitung und dadurch eine rasche Beseitigung der hohen Explosionstemperaturen aus den Zylindern gestatten.

In großem Umfang wird nach „The Iron Age“ (Juli 1920) das „Dow“-metall der Dow Chemical Co. in Midland (Mich.) für Kolben von Fahrrad-, Flugzeug- und Bootsmotoren seit Mitte 1919 verwendet, und es sollen damit weit höhere Leistungen erreicht worden sein als mit Kolben aus irgend einem anderen Stoffe. Dieses „Dow“-metall ist aber nichts anderes als das deutsche Elektron. Während des Krieges „erwarb“ die Dow Chemical Co. auf Grund der amerikanischen Kriegsgesetzgebung die beiden amerikanischen Patente der Chemischen Fabrik Griesheim-Elektron (U. S. A. 906 820, 1908 und 965 485, 1910) und führte das Metall mit Erfolg auf einem neuen Gebiet, dem des Motorenbaues, ein, auf dem in Deutschland erst seit 1920 planmäßige Versuche angestellt werden.

Ein beim Elektronmotorkolben unangenehm empfundener Nachteil ist, daß die bisher verwendeten Elektronmetalle ihre guten Festigkeitseigenschaften nicht bis zu der von einem Motorkolben auszuhaltenden Temperatur von 400°C beibehalten. Diesen Übelstand suchen zwei Patente zu überwinden: D. R.-P. 385 413, 1921 und D. R.-P. 387 278, 1921 (Griesheim-Elektron).

Das erstere empfiehlt erhebliche Zuschläge an Kupfer, Zinn oder Aluminium, z. B. bis zu 20 Proz. Aluminium unter gleichzeitiger Anwesenheit von 1 Proz. Silicium und bis zu 1 Proz. Calcium, überhaupt Bildung solcher Eutektika bzw. Mischkristalle, die oberhalb 400° C schmelzen. Dabei werden Härtemittel, wie Silicium und Calcium, in so geringen Mengen zugesetzt, daß der Schmelzpunkt der Legierung und das Wärmeleitvermögen nicht beeinflußt werden. Das letztere erinnert zunächst daran, daß die bekannten Magnesiumlegierungen mit Aluminium, Zink, Cadmium, Mangan oder deren Gemischen, die als Elektronmetall vorzugsweise Verwendung finden, in bezug auf Zähigkeit, Härte und Festigkeit bei gewöhnlicher und erhöhter Temperatur sich in fühlbarer Weise und regelbar im Sinne einer Zunahme dieser Eigenschaften ändern, wenn man ihnen Calcium in bestimmten Verhältnissen beimengt. Bei der Herstellung von Guß kommt es nun nicht darauf an, ob dieses Metall in Beträgen von 0,1 oder 1 Proz. zugesetzt wird, wohl aber spielt der Prozentgehalt nach neueren Beobachtungen für die Formgebung durch Zug und Druck eine unerwartet große Rolle. Von 0,08 Proz. aufwärts an verlangsamt sich die Preßgeschwindigkeit und Härte, Festigkeit und Zähigkeit vermehren sich. Bei 0,5 Proz. liegt der Grenzwert. Dieser soll eingehalten werden, indem man das Calcium entweder als Metall oder in Form von Verbindungen, die durch das flüssige Aluminium oder Magnesium der Legierung zersetzt werden, zugibt. Ist durch das Umschmelzen etwas Calcium bei Gegenwart von $MgCl_2$ verlorengegangen, so ist es durch eine Nachbehandlung wieder einzuführen.

In dem Bestreben, hervorragend leichte und dabei in ihren Festigkeitseigenschaften noch bei mehr als 400° C beständige Legierungen zu schaffen, hat man (D. R.-P. 392022, 1922, Griesheim-Elektron) auch Magnesium mit höheren Zusätzen von Silicium (bis 8 Proz.) versehen.

Ein weit größerer Erfolg als Griesheim-Elektron mit dieser Mg-Si-Legierung war jedoch allem Anschein nach der Metallbank und Metallurgischen Gesellschaft A.-G., Frankfurt a. M., mit einer Aluminium-Siliciumlegierung beschieden, die unter dem Namen „Silumin“ erstmalig auf der Deutschen Automobilausstellung Berlin im September 1921 ausgestellt wurde. Die Herstellung hochwertiger Aluminium-Siliciumlegierungen war bisher weder im wissenschaftlichen Laboratoriumsbetrieb, noch viel weniger im technischen Ausmaße geglückt. Um so größer war daher die Überraschung, als sich zeigte, daß es der neueren Metallforschung gelungen ist, in dem Leichtmetall Silumin eine so wesentliche Steigerung aller Qualitätsziffern zu erreichen, daß es alle bisher bekannten Aluminiumgußlegierungen hinsichtlich der technologischen Eigenschaften übertrifft.

Aluminium-Siliciumlegierungen hatte man seit den 50er Jahren des vorigen Jahrhunderts wiederholt eingehend studiert, doch ohne technischen Erfolg. Silicium, für sich allein technisch ganz unbrauchbar, schien nach den älteren Beobachtungen selbst das weiche, geschmeidige Aluminium zu hart und spröde zu machen, so daß man es eher für einen schädlichen Legierungsbestandteil ansah, als sich von seiner Verwendung Nutzen zu versprechen.

Die ersten Legierungen dieser Art wurden als zufällige Zwischenerzeugnisse von St. Claire Deville und Wöhler (Ann. d. Chem. u. Pharm. 1856) gelegentlich der Herstellung von Siliciumkristallen aus Gemischen von Aluminium und Fluorkieselnatrium oder -kalium, bzw. durch Überleiten von Siliciumchlorürdämpfen über flüssiges Aluminium erhalten.

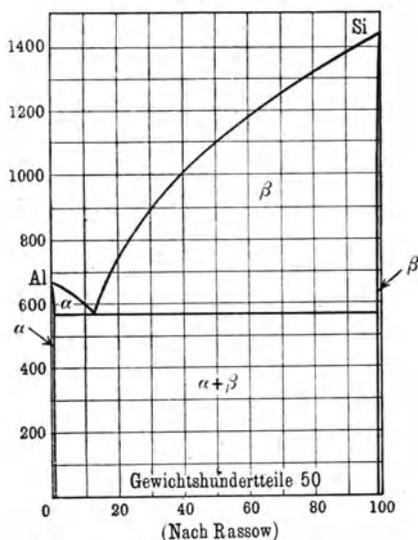
Ihre technische Anwendung haben auch C. und A. Tissier 1898 (Compt. rend. 43) probiert, doch ohne zu technischen Werten zu gelangen, die sie anderen Aluminiumlegierungen ebenbürtig oder gar überlegen erscheinen ließen. Günstigere Werte scheint Minet gefunden zu haben, der 1891 das System Aluminium-Silicium einer genauen Untersuchung unterzog und dabei Legierungen mit 9 Proz. Silicium hinsichtlich ihrer Festigkeit reinem Aluminium überlegen fand. Ausführlichere Untersuchungen brachten 1895 das Ergebnis, daß Silicium bis zu 10 Proz. mit Aluminium verschmolzen werden kann, dem es höhere Härte und Festigkeit verleiht, ohne seine Schmiedbarkeit aufzuheben (A. Minet, L'Aluminium 1896).

Eine eigentümliche Siliciumlegierung ist Wilh. d'Or durch das D. R.-P. 265924, 1911, mit Zusätzen D. R.-P. 268915 geschützt worden. Es ist dadurch gekennzeichnet, daß 84 Proz. Aluminium mit 11 Proz. Blei, das auch teilweise durch Zinn (2 Proz.) ersetzt werden kann, und 5 Proz. Glas, wodurch Silicium, Natrium und einige andere Elemente in das Gemisch gelangen, zusammenschmolzen werden. Die Legierung soll ganz außerordentlich hart sein. Über etwa entstehende Schlacken und Abscheidungen machen die beiden Patentschriften keine Angaben. Sie müssen aber vorhanden sein, da nach thermischen und metallographischen Untersuchungen Gwyers z. B. Blei und Aluminium weder in flüssigem noch festem Zustand gegenseitig löslich sind, sich also nicht legieren, und wenige Prozente fremder Elemente daran kaum etwas ändern werden. Außerdem muß die Zugabe eines Silikats die Bildung von Tonerde herbeiführen. Wir erwähnen diese offenbar rein empirisch gewonnene und praktisch bedeutungslose Legierung nur als einen merkwürdigen Versuch, das Silicium zum Bestandteil einer Aluminiumlegierung zu machen.

Das Konstitutionsdiagramm des binären Systems Aluminium-Silicium wurde zum Teil 1901 von Vigouroux und Arrivaut,

1906 von Guillet, vollständig 1907 von Fraenkel aufgestellt und durch Roberts (Journ. of the Chem. Soc. 1922), sowie Wetzels und Konarsky (Metallbörse 1922) überprüft (vgl. Fig. 52). Danach bilden beide Elemente einfache eutektische Mischungen mit einem eutektischen Punkt bei 13,8 Proz. Si und einer eutektischen Temperatur von 575° C. Eine chemische Verbindung besteht zwischen beiden Elementen nicht. Auf der Siliciumseite nimmt Fraenkel das

Fig. 52.



Vorhandensein eines Mischkristalls mit etwa 2 Proz. Aluminium an, auf der Aluminiumseite soll ein solches nach Czochralsky mit weniger als 1 Proz. Si bestehen.

Bemerkenswert in der Geschichte der Aluminium-Siliciumlegierungen sind noch die Arbeiten Frilleys (Rev. Mét. 1914) und Schirmeisters (1915). Ersterer fand ein verschiedenes Verhalten der durch Elektrolyse und der durch einfaches Zusammenschmelzen gewonnenen Legierungen, glaubte aber irrlicherweise, daß sich bei der Elektrolyse in statu nascendi beide Elemente zum Teil zu Silicid vereinigten, und übersah auch,

daß die elektrolytisch hergestellten Legierungen andere mechanische Eigenschaften besitzen. Letzterer stellte nochmals die Verwendbarkeit der in Rede stehenden Legierungen bis zu etwa 15 Proz. Si-Gehalt fest, und zwar sollen die für Walzzwecke 5 bis 7 Proz., die für Gußzwecke möglichst 10 bis 12 Proz. Si enthalten. Er erkannte auch, daß das Schwindmaß der Al-Si-Legierungen auffallend gering ist; bei 11 Proz. Si fallen sie kaum noch ein, darüber hinaus beginnen sie zu treiben. Diese wertvolle Eigenschaft, verbunden mit ausreichender Zugfestigkeit, gestattet die Herstellung von Präzisionsgüssen, wie sie bisher mit Leichtlegierungen nicht möglich waren. Er stellte auch fest, daß die Neigung zum Korrodieren, wenigstens bei Legierungen unter 8 Proz. Si, geringer als von Reinaluminium ist.

Doch auch Schirmeisters sorgfältige Arbeit machte das System Aluminium—Silicium noch nicht für die Technik reif. Das geschah erst durch die Studien, die von Aladar Pacz (Cleveland, Ohio 1920) aufgenommen wurden und ihren Höhepunkt erreichten,

als es ihm gelang, Al-Si-Legierungen von einer bis dahin unerreichten Feinkörnigkeit herzustellen, die überraschend hohe technische Güteziffern aufweisen. Das Wesen der Paczschenschen Entdeckung besteht darin, daß er die auf irgend eine Weise gewonnene Rohlegierung einem Veredlungsverfahren unterwirft, indem er sie (A. P. 1387900, D. R.-P. angem. 40988/40b) mit Natriumfluorid raffiniert. Verbessert wurde das Hauptpatent noch durch eine deutsche Zusatzpatentanmeldung (D. R.-P. angem. 43278/40b), veranlaßt von Czochralsky, nach der „dem zur Behandlung der geschmolzenen Legierung dienenden Salzgemisch eine Siliciumverbindung, insbesondere ein Silikat oder freie Kieselsäure zugesetzt wird“. Dieser Zusatz soll einen ruhigen Verlauf der Reaktion bewirken, wodurch ein Mißlingen der Veredlung verhindert wird. In einem anderen Zusatzpatent (D. R.-P.-Anmeldung 41415/40b) wird das Hauptpatent noch dadurch erweitert, daß für die Veredlung Alkalimetalle, Erdalkalimetalle und Metalle der Erden, allein oder in Gemischen, sowie deren Verbindungen, ferner auch die verschiedenen Halogenverbindungen und die Halogene selbst verwendet werden können. Mehr als 2 Proz. Schwermetalle dürfen aber nicht in die Legierung eintreten. Sollte das anzuwendende Veredlungsmittel daher Schwermetalle enthalten, so ist der erwähnte Grenzwert von 2 Proz. zu berücksichtigen.

Das Verfahren der Veredlung, das allem Anschein nach in einer Verminderung der Kristallisationsgeschwindigkeit unter Vermehrung der Kristallisationskerne besteht, stellt keine besonderen Ansprüche an die Rohlegierung. Es ist für den Endeffekt gleichgültig, ob sie einfach aus den Elementen erschmolzen, elektrolytisch gewonnen, oder durch ein Umsetzungsverfahren nach Art des D. R.-P. 140737, 1902, das Kalium(natrium)chlorid auf flüssiges Aluminium wirken ließ und damit metallisches Kalium neben Kaliumaluminiumchlorid erhielt, hergestellt wurden. Kaliumsiliciumfluorid muß in ähnlicher Weise mit Aluminium reagieren. Diesen Weg sucht Paczsch einzuschlagen. Nach seinem österreichischen Patent 95309, 1921, werden Legierungen von Metallen, deren Schmelzpunkte weit auseinander liegen, erhalten, wenn Doppelfluoride, welche neben einem Alkali, Erdalkali oder Aluminium ein anderes Element enthalten, das bei höherer, etwa dem Schmelzpunkt des Aluminiums entsprechender Temperatur durch dieses verdrängt wird. Der Schmelzpunkt des Aluminiums z. B. ist 658°C , der des Siliciums 1420°C . Mischt man nun Kieselfluornatrium mit Aluminiumpulver, gegebenenfalls unter Zusatz eines Bindemittels, und trägt die Masse in ein nur wenig über seinen Schmelzpunkt erhitztes Aluminium ein, so erhält man neben einer aus Natrium- und Aluminiumfluorid bestehenden Schlacke eine Aluminiumsiliciumlegierung. Deren Siliciumgehalt

kann dabei noch durch Zusätze von Siliciumpulver erhöht werden. Man kann auch Zusätze anderer Metalle, wie z. B. von Molybdän, machen. Das Verfahren gestattet auch die Herstellung ganz anderer Legierungen, wenn man Silicium durch Bor, Chrom, Nickel, seltene Erden usw. ersetzt und an Stelle von Aluminium gleichfalls andere Metalle verwendet. Dieses Patent von Pacz hat in dem D. R.-P. 286556, 1913, von Leon Goldmerstein, New York, seinen Vorläufer. Es löst das Grundproblem der Legierungskunde; Einführung erwünschter, Entfernung unerwünschter Metallbestandteile gleichfalls unter Zuhilfenahme des Elementes Fluor. Die zu einem bestimmten Metallkörper zu legierenden Metalle werden in Form verschiedener Fluoride, Sesquifluoride oder Oxyfluoride usw. zugesetzt, wobei die einzige Bedingung die ist, daß die chemischen Verbindungen bei der in dem Metallbad herrschenden Temperatur sich zersetzen lassen.

Ausgehend von der Überlegung, daß im Hauptpatent von Pacz nicht Fluor, sondern Natrium (Kalium) das wirksame Agens ist, haben die amerikanischen Erfinder J. D. Edwards, F. C. Frary und H. V. Churchill die Veredlung von Aluminium-Siliciumlegierungen mit 5 bis 15 Proz., am besten 8 bis 13 Proz. Si-Gehalt durch Einrühren von 0,1 Proz. Na oder noch besser 0,05 Proz. Na + 0,05 Proz. K versucht und das gleiche Ergebnis erzielt (A. P. 1410461, E. P. 171996, F. P. 543712 der Aluminium Co. of America). Man hat auch festgestellt, daß Na-Zn-Legierungen mit 2 Proz. Na, in Beträgen von 1 Proz. zugesetzt, so daß also nur 0,02 Proz. Na im Metallbade vorhanden sind, die gleiche Wirkung erzielen konnten wie 0,1 Proz. metallisches Natrium. Ferner sollen nach den Angaben dieser Patente auch andere Metalle, wie Cadmium und Barium in Beträgen bis zu 1 Proz., eine ähnliche Raffinationswirkung ausüben können. Endlich soll eine zwar etwas geringere, aber doch sehr deutliche Kornverfeinerung einfach dadurch erhalten werden, daß die Legierungen durch Vergießen in eiserne Formen unter möglichster Wärmeableitung erhalten werden. Erfolgt nämlich der Temperatursturz von 760° C Gießtemperatur bis zum Erstarrungspunkt in etwa 15 bis 20 Sekunden, so haben die vorhandenen Kristallisationskeime nicht Zeit, sich zu großen Kristallen auszubilden (F. P. 543713 und E. P. 171997 der Aluminium Co. of America).

Die Leichtlegierung Silumin, die dank der planmäßigen Forschungsarbeit seitens der Metallbank und Metallurgischen Gesellschaft seit nunmehr drei Jahren in die deutsche Technik eingeführt wurde, beginnt erst jetzt im Ausland als „Alpax“ sich durchzusetzen.

Ihre Eigenschaften und derzeitigen Verwendungsgebiete sind von dem Leiter des Metalllaboratoriums genannter Gesellschaft verschiedentlich dargelegt worden. Seinen Angaben sei folgendes entnommen:

Legierung	Zusammensetzung				Spez. Gew.	Mechanische Festigkeit kg/qmm	Prüfung, Dehnung Proz.
	Zn	Cu	Si	Al			
S = Silumin . . .	—	11	14	Rest	2,5 -2,65	20	5—10
A = Amerik. Leg.	—	8	Spur	"	2,85-2,9	12	1— 2
D = Deutsche Leg.	10	2	"	"	2,9 -2,95	15	2— 4

Die Festigkeitswerte des Silumins liegen hiernach um 25 bis 30 Proz. höher als die der besten Vergleichslegierung D, während die Dehnung mehr als doppelt so groß ist. Ebenso ist die Warmfestigkeit und Warmhärte bis 350°C noch über 5 kg/qmm, also größer als bei anderen Aluminiumlegierungen. Die Torsionsfähigkeit der drei Legierungen beträgt bei S 420°C, bei D 320°C und bei A 110°C. Bei Dauerschlagversuchen (rund 10 cm/kg Schlagarbeit) ergaben sich für S 530, für D 260 und für A 20 Schläge. Hinsichtlich der Korrosionsneigung entspricht sie etwa bestem Reinaluminium. Die mitgeteilten Versuchszahlen weisen der neuen Legierung als Konstruktionsmaterial eine bevorzugte Stellung unter den ähnlichen Legierungen zu. Da für die Herstellung nur sehr reine Ausgangsstoffe Verwendung finden dürfen, ist ihr Preis zurzeit noch etwas hoch. Er entspricht etwa dem des Reinaluminiums.

Die neue Legierung ist gut bearbeitbar, läßt sich schleifen, polieren und schweißen. Farbanstriche halten auf Silumin, auch ohne sorgfältige Vorbehandlung, besser als auf Eisenblech. Es gibt einen äußerst dichten Guß und ist für die Herstellung von Wasser-, Luft-, Dampf- und Gaszylindern hervorragend geeignet. In den meisten Fällen, wo bisher andere Aluminiumlegierungen oder Rotguß in Frage kamen, ist es wirtschaftlich vorteilhafter. Seine gute Wärmeleitfähigkeit macht es auch für Wärmeausgleichplatten, Kühler, Kühlbutzen, Zylinder, Kolben, Destilliervorrichtungen, Kondensstöpfe usw. geeignet. Seine Verwendung auf zahlreichen anderen Gebieten ist eingeleitet.

Nach einer Mitteilung der Hedderheimer Kupferwerke, die den Siluminguß neuerdings übernommen haben, betrug die Produktion in rascher Steigerung: 1921 65 t, 1922 370 t, 1923 800 t. Mit Recht sagt daher Czochralsky, daß dieses neue Leichtmetall eine Bereicherung unserer Baustoffe darstellt, die jeden Techniker zu nachdenklicher Mitarbeit veranlassen sollte.

Der große Erfolg des Silumins hat die Aluminium-Siliciumlegierungen scharf in den Blickpunkt des Interesses gerückt. Es ist daher nicht verwunderlich, daß auch von anderer Seite der Versuch gemacht wird, dieses aussichtsreiche Feld der Forschung zu bestellen. So ist kürzlich von seiten der bekannten Metallfirma Th. Gold-

schmidt, Essen, eine Silicium-Aluminiumlegierung zum Patent angemeldet worden, über deren Wesen und Eigenschaften allerdings noch nichts an die Öffentlichkeit gedrungen ist. Viel Zurückhaltung wird auch seitens der Vereinigten Al-Werke (Lautawerk) über ihr gelegentlich eines Vortrages angekündigtes Leichtmetall „Lautal“ geübt, von dem bisher nur bekannt ist, daß es sich aus 94 Proz. Aluminium mit 6 Proz. Kupfer und Silicium zusammensetzt, 40 bis 50 kg/qmm Festigkeit und 20 bis 25 Proz. Dehnung bei hervorragender Härte und Elastizität und einem spezifischen Gewicht von 2,7 bis 2,8 große chemische Widerstandskraft besitzen soll.

Im Vergleich zu den Legierungen auf der Grundlage Al Zn, Al-Cu, Al-Mg und AlSi treten die der anderen Metalle mit Aluminium stark zurück. Größere technische Bedeutung hat bisher keine von ihnen erringen können, obwohl sich Forscher und Erfinder auch mit ihnen vielfach abgemüht haben. Entwicklungsmöglichkeiten sind aber auch hier festzustellen. So scheinen die Legierungen Aluminium-Kobalt nach Borchers-Schirmeister (D. R.-P. 242313, 1911) bei guten mechanischen Eigenschaften auch hinsichtlich der chemischen Widerstandsfähigkeit recht aussichtsreich zu sein, namentlich die mit geringen Zusätzen von Wolfram oder Molybdän. Beispiele: 91 bis 88 Al, 8 bis 10 Co, 0,8 bis 1,2 Wo oder 90 bis 89 Al, 9 bis 10 Co, 0,6 bis 1 Proz. Mo. Die Zahl der Stoffe, die als Legierungszusätze auf Aluminium härtend wirken, ist äußerst beschränkt. Wie das D. R.-P. 367597, 1919 (Metallbank und Metallurgische Gesellschaft) betont, besitzt Lithium diese Eigenschaft. Auch in Mehrstofflegierungen des Aluminiums bringt es (Zusatzmetalle in geringen Mengen sind Zn, Mg, Cu, Ni, Mn) die Eigenschaft der Wärmevergütbarkeit, ähnlich dem Duralumin, in die Legierung, vermittelt ihr aber auch schon ohne Veredlungsverfahren höhere technische Güteziffern. Aluminium-Lithium gilt als Desoxydationslegierung. Sie ist aber auch bis zu 40 Proz. Li durchaus brauchbar für Konstruktionszwecke. An der Fähigkeit der Veredlung durch Wärmebehandlung ist sie selbst den Al-Mg-Legierungen überlegen.

Den rastlosen Bemühungen der in Fragen der Aluminiumveredlung in Deutschland zurzeit zweifellos führenden Metallbank und Metallurgischen Gesellschaft, Frankfurt, ist es anscheinend gelungen, die im obigen Patent angeführten Aluminium-Lithiumlegierungen bis zu hoher technischer Brauchbarkeit weiter zu entwickeln. Als „Skleron“metalle sollen sie wenigstens demnächst in die Technik eingeführt werden. Mit mindestens 85 Proz. ist in ihnen das Aluminium Grundmetall. Die Zusatzmetalle dürfen nicht mehr als 15 Proz. und keinesfalls weniger als 5 Proz. der Legierung ausmachen. Bei einer Festigkeit von 40 kg/qmm, einer Dehnung von 12 Proz., einer bedeutenden Härte und einer von keiner anderen

Aluminiumlegierung erreichten Elastizität sollen sie dem Stahl und Messing als Konstruktionsmaterial gleichzustellen sein.

Die Fähigkeit zweier Stoffe, feste Lösungen miteinander zu bilden, ist, wie schon früher betont wurde, entscheidend dafür, ob bei einer Legierung neue Eigenschaften zu erwarten sind. Aluminium besitzt nun nach den Feststellungen der Metallforschung leider nur wenigen Stoffen gegenüber die eben betonte Fähigkeit. Einer von diesen ist Beryllium. Es bildet mit Al feste Lösungen und vermag darüber hinaus die mechanischen Güteziiffern des Aluminiums zu steigern. Die Aluminium-Berylliumlegierungen würden zweifellos schon größere technische Bedeutung erlangt haben, wenn das Beryllium in größeren Mengen zur Verfügung stünde. Aber auch als Bestandteil von Aluminium-Mehrstofflegierungen stehen ganz neue Verwendungs- und Bearbeitungsmöglichkeiten in Aussicht, namentlich unter Mitverwendung von Metallen, die wie Kupfer, Zink, Magnesium selbst mit Aluminium feste Lösungen bilden.

Die beiden Nutzmehalle Zinn und Nickel vermögen technisch brauchbare Legierungen mit Aluminium zu bilden. Doch treten die ersteren völlig zurück, da sie anderen Aluminiumlegierungen gegenüber keine Vorzüge besitzen, wohl aber teurer als diese sind. Als Beispiel sei angeführt die ternäre Legierung von Krupp A.-G. (D. R.-P. 218970, 1906), die sich leicht gießen läßt, relativ gute Festigkeit und Bearbeitungsfähigkeit besitzt und ein schönes Aussehen hat. Sie besteht aus 87 Proz. Al, 8 Proz. Cu und 5 Proz. Sn.

Die letzteren sind als Nickelaluminium mit 0,5 bis 10 Proz. Gehalt im Normblatt der Aluminiumlegierungen aufgenommen.

Die schweren Aluminiumlegierungen

(spezifisches Gewicht über 3).

Mehr noch als die leichten Nickelalumine zeichnen sich die schweren Aluminiumnickellegierungen durch hervorragende technische Eigenschaften aus. So soll (D. R.-P. 190234, 1905) eine Legierung mit je 49,5 Proz. Nickel und Aluminium mit 1 Proz. Phosphor hochsäurebeständig sein. Eine andere mit 75 Proz. Ni, 17 Proz. Cr, 2 Proz. Al, 1,5 Proz. Cu und 1 Proz. Ag soll zufolge D. R.-P. 360005, 1920, Metallwerk Max Brose, wegen seiner chemischen Beständigkeit zu ärztlichen und zahnärztlichen Zwecken hervorragend geeignet sein. Eine Legierung mit einer geradezu märchenhaften Härte und Festigkeit hat sich Hugh Spencer Cooper, Cleveland, im D. R.-P. 355497, 1920, rechtlich gesichert. Sie enthält außer 10 Proz. Aluminium und dem Hauptbestandteil Nickel, noch größere Mengen Zirkon und Silicium. Für Nickel kann man

auch Kobalt mit Zusätzen der Chromgruppe (W, Mo, Cr, U) verwenden. Die Legierung wird aluminothermisch erschmolzen. Ihr Schmelzpunkt ist 1200°C . Sie bleibt dauernd so hart, daß man den härtesten Stahl mit ihr schneiden kann. Dabei bedarf es keines Schleifens und Anlassens des Schneidwerkzeuges. Die Legierung läßt sich ohne jede Nachbehandlung zu scharfen Schneidwerkzeugen gießen.

Auch Eisen verbessert nach Untersuchungen von Zeerleder gleich dem Nickel die Härte, sowie die Hitze- und Säurebeständigkeit des Aluminiums. Eine Legierung dieser Art ist die ternäre nichtrostende, hitzebeständige Eisenlegierung mit 10 Proz. Aluminium und 5 Proz. Nickel von Reissmann, Großbröhrsdorf i. Sa., D. R.-P. 383892, 1922. Handelt es sich in diesem Falle auch nicht um eine eigentliche Aluminiumlegierung, so ist das Aluminium doch, wie in den sogenannten schweren Aluminiumlegierungen überhaupt, zwar nicht Grundbestandteil, aber doch für den Aufbau unentbehrlich.

Aluminium wird bei Eisen- und Stahlguß in Mengen unter 1 Proz. wohl in den meisten Fällen zugesetzt. Es macht den Schmelzfluß dünnflüssig, entreißt ihm den als Oxyd oder im freien Zustande vorhandenen Sauerstoff und führt ihn als Aluminiumoxyd an die Oberfläche, wo er entfernt werden kann. Aluminium ist hier Desoxydationsmittel. Zur besseren Wirkung nimmt man statt des reinen Aluminiums auch sogenannte Desoxydationslegierungen, wie Ferroalumin (mit 10 Proz. Al), Aluminiummagnesium oder Aluminiumsilicid. Eine besonders nachhaltige Wirkung versprechen sich die Erfinder von einer Dreistofflegierung (D. R.-P. 288701, 1913) aus Aluminium-Magnesium-Mangan.

Aluminium blieb nach einer solchen Anwendung nur in sehr geringen Mengen in der Eisenlegierung zurück, die sie allerdings bemerkenswert zäh und dicht machte. Als Mitisguß war daher eine Stahlsorte mit 0,1 bis 0,5 Proz. Aluminium längst bekannt. Neuerdings ist aber im „Alit“ eine 15 Proz. aluminiumhaltige Aluminium-Eisenlegierung bekanntgeworden, die sich bequem gießen und mit Vorsicht schmieden läßt, dabei aber den gefürchteten Angriff des Luftsauerstoffs, ähnlich wie Chrom, unwirksam zu machen vermag. Ein Alitiegel, gleichzeitig mit einem gewöhnlichen Eisentiegel 120stündigem Glühen bei 950°C in einem Temperofen unterworfen, zeigte deutlich die hervorragende Hitzebeständigkeit des ersteren. Ähnlich vorteilhaft wirkt das nach obiger neuen Erkenntnis ausgebildete Alitierungsverfahren. Gußeiserne Gegenstände werden hiernach in einem besonderen aluminiumhaltigen Pulver geglüht (alitiert), wobei das Aluminium, ähnlich wie der Kohlenstoff beim Zementierverfahren, bis zu einer gewissen Tiefe in das Material unter Bildung einer chemischen Verbindung eindringt und auf diese Weise gleichsam eine in hohem Maße schützende Haut erzeugt.

Zu den härtesten, festesten und wetterbeständigsten Nutzlegierungen überhaupt gehören die sogenannten Aluminiumbronzen. Sie unterscheiden sich von den echten Bronzen im allgemeinen dadurch, daß bei ihnen das Zinn ganz oder zum Teil durch Aluminium ersetzt ist und daß ihnen in Sonderfällen noch andere meist hochschmelzende Metalle in geringen Prozentsätzen hinzulegiert sind. Um ihrer hohen technischen Bedeutung willen sind sie auch als Aluminiumbronzen unter dem Abschnitt „Sonderbronzen“ im Vorschlag zum Normblatt für Bronze und Rotguß der Deutschen Industrie (DIN) aufgenommen worden.

Als Aluminiumbronzen im Sinne des Normblattes gelten die Legierungen mit 90 bis 95 Proz. Kupfer und 10 bis 5 Proz. Aluminium, geeignet für dünne Bleche, Stangen, Schmiedestücke, Drähte, seewasserbeständige Teile und dergleichen. Es sind durchweg sehr harte, chemisch widerstandsfähige Metalle von schön goldgelber Farbe, mit 91,5 Proz. Kupfer und 7,5 Proz. Aluminium, das Münzmetall für deutsche 5-, 10- und 50-Pfennigstücke.

Die Aluminiumbronzen sind seit etwa 1900 bekannt. Der hohe Preis und die anfängliche Schwierigkeit, Aluminium und Kupfer wegen ihrer ungefähr 770°C auseinanderliegenden Schmelzpunkte zu legieren, stand zunächst einer Anwendung in der Technik im Wege. Gegenwärtig aber zählen die Aluminiumbronzen zu den technisch wertvollsten Legierungen, die keinerlei Neigung durch Sonderkristallisationen oder Seigerung zeigen, gleichmäßiger als alle anderen Bronzen sich herstellen lassen und sich selbst nicht durch wiederholtes Umschmelzen ändern. Ihre Zuverlässigkeit bei hohen Warmbeanspruchungen macht sie für manche Zwecke verwendbarer als hochwertiger Stahl. So hat z. B. 10,5 Proz. aluminiumhaltige Aluminiumbronze die rasch verschleißenden stählernen Bolzen im amerikanischen Springfieldgewehr völlig verdrängt.

Hergestellt werden die schweren Aluminiumbronzen mit einem Aluminiumgehalt von 0,1 bis 15 Proz. Aluminium-Kupferlegierungen mit mittleren Gewichtsverhältnissen sind nach neueren metallographischen Untersuchungen so hart und spröde, daß sie sich nicht bearbeiten lassen. Im Widerspruch dazu behauptet ein allerdings älteres Verfahren (Polytechn. Notizen 1874/76), daß eine Legierung aus 100 Tln. Aluminium und 90 Tln. Kupfer sehr hart und elastisch sei und sich zur Herstellung von Uhrfedern eigne. Legierungen mit 0,1 bis 7,35 Proz. Al (und 99,9 bis 92,65 Proz. Cu) sind außergewöhnlich weich. Schon 0,1 Proz. Aluminium vergrößert den Drehwinkel von reinem Kupfer um 90° , vermindert aber zugleich die elektrische Leitfähigkeit um 25 Proz. Bronze mit 0,1 bis 9 Proz. Al-Gehalt zeigen keine Alterungserscheinungen. Die einmal ermittelten Elastizitäts-

grenzen ändern sich nicht, wie etwa bei Stahl (gewalzt, geschmiedet). Es sind wirkliche „Grenzwerte“. Geschmiedet ist die Dehnung gleich Null, die Querschnittsverminderung sehr groß und praktisch unverrückbar, während die Zähigkeit mit steigendem Aluminiumgehalt zunimmt. Die Geschmeidigkeit und Zähigkeit der sogenannten „Gold“bronze, das ist Kupfer mit 10 Proz. Aluminium, ist so groß, daß z. B. ein in Schreckschale gegossener Probeklotz eine 80proz. Querschnittsverminderung durch Walzen ohne jede Zwischenbearbeitung oder Erwärmung vertrug. Bronzen mit 5 bis 10 Proz. Aluminium widerstehen thermischer Beanspruchung, wie schon erwähnt, besser als Eisen und Stahl, und Bronzen mit 7,45 bis 9 Proz. Aluminiumgehalt vertragen Dauerbeanspruchung durch Hin- und Herbewegung ohne Ermüdungserscheinungen, verhalten sich in dieser Hinsicht also besser als jedes andere Metall. Bronzen mit 7 Proz. und weniger Aluminium erfahren durch Warmbehandlung keine Verbesserung ihrer mechanischen Eigenschaften, aluminiumreichere Bronzen können wie Stahl durch Anlassen gehärtet werden. 15 Proz. aluminiumhaltige werden dadurch hart wie Stahl von 0,45 Proz. Kohlenstoffgehalt; 10 Proz. aluminiumhaltige erhalten durch Erhitzen auf 800°C eine außerordentliche Härte und geben ein ausgezeichnetes Material für Lagerwellen mit höchster Umdrehungszahl. 9,9 Proz. Aluminiumgehalt verleiht der Bronze dieselben physikalischen und mechanischen Eigenschaften wie gewalzter schwedischer Bessemerstahl mit 0,35 Proz. Kohlenstoff. Bronzen mit 1 bis 10 Proz. Aluminium sollen allein oder in Verbindung mit Weicheisenplatten von Seewasser nicht angegriffen werden. Sie sind daher der geeignete Baustoff für Torpedopropeller, Schiffsschrauben, Futter für Pumpenkörper u. a. m. Wegen ihrer guten Bearbeitungsfähigkeit eignen sie sich aber auch für Kunstgüsse und Kunstschmiedestücke aller Art. Aluminiumbronzen unterliegen auch nicht dem Angriff alkalischer Lösungen. Sulfitlaugen der Cellulosefabriken, chlor- und alaunhaltige Wässer schaden ihnen weniger als anderen Metallen. Das Verhältnis der Gewichtsabnahme durch chemischen Angriff auf Eisen-, Kupfer-, Aluminium-Kupferlegierungen läßt sich durch die Proportion ausdrücken: Fe : Cu : Al-Cu = 11 : 2 : 1.

Aluminiumbronzen mit weniger als 7 Proz. Aluminiumgehalt sind zwar außerordentlich geschmeidig — Versuchsproben (F. W. Rowe, Metall.-Ind., Juli 1923) von 5 prozenthaltiger wiesen 78 Proz. Dehnung auf —, sind aber wegen zu niedriger Fließgrenze und zu leichter Deformierbarkeit für Handelsguß nicht brauchbar. Neuerdings sucht man sie jedoch durch Zusätze von 3,5 bis 4,5 Proz. Eisen, das die Fließgrenze und Zugfestigkeit erhöht, dazu das Gefüge verfeinert, das Schwindmaß vermindert und die Gießfähigkeit verbessert, in die Technik einzuführen.

Wichtig ist die Verwendung der eisenhaltigen Aluminiumbronzen vor allem für die Herstellung von Pumpenteilen, Ventilsitzen usw. wegen ihrer beträchtlichen Korrosionsbeständigkeit neben guten mechanischen Eigenschaften.

Für die Herstellung der Aluminiumbronzen sind gegenwärtig vier Verfahren im Gebrauch: 1. Das möglichst reine (Elektrolyt)-Kupfer wird unter einer Holzkohlendecke eingeschmolzen und mit 0,25 Proz. Siliciumkupfer desoxydiert, was notwendig ist, um die sonst erfolgende Bildung von Aluminiumoxyd zu vermeiden. Dann wird Aluminium in Stückform zugegeben. Hierbei tritt starke Wärmeentwicklung ein; die Bildungswärme der Verbindung Cu_3Al . Gegossen wird bei 1180 bis 1240° C. Hauptgefahr ist das Festsetzen von Tonerdeteilchen in der Schmelze. Soll Eisen zugeführt werden, so wird es am besten in Stückform als schwedisches Holzkohleneisen oder als 50proz. Kupfer-Eisenvorlegierung vor Einbringen des Aluminiums unter kräftigem Umrühren in den Schmelztiegel gebracht. 2. Nach Guillet: $\text{CuO} + \text{Al}$ reagieren unter Bildung von Tonerde und einer Kupfer-Aluminiumlegierung nach der Formel: $3n \text{CuO} + (2n + 3m)\text{Al} = 3\text{Cu}_n\text{Al}_m + n\text{Al}_2\text{O}_3$. Die Reaktion erfolgt explosionsartig heftig, wenn das Aluminium zu feinkörnig ist. Bei genügender Grobkörnigkeit geht aber die Umsetzung ganz ruhig vor sich. 3. Cowlesverfahren (A. P. 319795, 1884): Nach diesem älteren elektrothermischen und elektrolytischen Verfahren erfolgt die Reduktion der Tonerde durch Kohlenstoff bei Gegenwart von Kupfer. 4. Pringverfahren: Reduktion von Kupferoxyd durch Aluminiumcarbid nach der Formel: $3\text{CuO} + \text{C}_3\text{Al}_4 \rightleftharpoons \text{Al}_4\text{Cu}_3 + 3\text{CO}$. Allgemeinere Anwendung findet unseres Wissens nur das Verfahren unter Nr. 1.

Die Aluminiumbronzen hat man vielfach durch anderweitige Zusätze in einzelnen ihrer Eigenschaften zu verbessern gesucht. Man ist so zu Spezialaluminiumbronzen gelangt. Außer dem schon erwähnten Eisen spielt z. B. das Silicium als Legierungshärter eine gewisse Rolle. So gilt eine Bronze mit 91,5 Proz. Cu, 7,5 Proz. Al und 1 Proz. Si als sehr bruchsfest, zäh und dehnbar (Zerreißfestigkeit 45 kg/qmm, Dehnung 50 bis 60 Proz.). Etwas mehr Silicium erhöht die Elastizität, die auch bei Rotglut nicht verschwindet. Als „Siliconbronze“ ist eine Legierung dieser Art mit 2 Proz. Si und 7,5 Proz. Al in England in Anwendung (Pattison, Manufacture of Aluminium). Bronzen mit 10 Proz. Aluminium werden durch Zusatz von Silicium zwar sehr hart und fest, zugleich aber auch spröde (z. B. bei 2 Proz. Si: Festigkeit 80 kg/qmm, Dehnung 0 bis 3 Proz.).

Ein äußerst günstiger Legierungsbestandteil in Aluminiumbronzen ist auch das Titan. Es gibt, ähnlich wie im Stahl, in ge-

ringen Zusätzen von weniger als 1 Proz. einen ausgezeichneten dichten Guß und die höchsten Festigkeitswerte. Besonders die Titanium Alloys Manufacturing Co., Niagara-Falls, N. Y., hat die Aluminiumbronzen durch Zusätze von Titan zu veredeln gesucht. Gerühmt wird an den Titanaluminiumbronzen, daß sie keinerlei Neigung zum Seigern zeigen und selbst bei mehrfachem Umgießen unverändert homogen bleiben. Nach Untersuchungen von Eugen van Erkelenz, Aachen, scheint die günstige Wirkung der Titanzusätze vor allem in der Vertreibung der Gase, besonders des Stickstoffs und des Sauerstoffs aus dem Schmelzfluß zu bestehen, die als Titanitrid bzw. -oxyd in der Schlacke abgeschieden werden.

Auch Kobalt und Nickel sind von günstigem Einfluß. So ist eine als „Sonnenbronze“ bezeichnete Legierung mit 50 Proz. Cu, 10 Proz. Al und 40 Proz. Co im Handel und eine „Propellerbronze“ genannte Legierung mit 85 Proz. Cu, 10 Proz. Al und 5 Proz. Ni im englischen Schiffsbau beliebt (Pattison, Manufacture of Aluminium).

Den Übergang zu der Gruppe der Sondermessinge bilden die nach ihrem Erfinder benannten und in einer Anzahl von Patenten geschützten Rübelbronzen, die als vorzüglich, gegossen, gewälzt, gepreßt, gezogen und geschmiedet gleich bewährt, nun seit zwei Jahrzehnten bekannt sind und noch heute von den Deutschen Allgemeinen Metallwerken „Admos“, Oberschöneweide bei Berlin, vertrieben werden. Die Rübelbronzen sind Vor- oder Zusatzlegierungen zu Messing, denen durch sie Aluminium, Eisen, Nickel und einige andere Metalle hinzulegiert werden sollen, und zwar mischt der Erfinder die Bestandteile der Vorlegierung im Verhältnis der Atomgewichtszahlen z. B. $\text{Cu}_2\text{Fe}_2\text{NiAl}$, das ist 39,1 Proz. Cu, 34,4 Proz. Fe, 18,1 Proz. Ni, 8,4 Proz. Al, ferner $\text{Cu}_2\text{Fe}_2\text{Ni}_2\text{Al}$, das ist 33,2 Proz. Cu, 29,1 Proz. Fe, 6 Proz. Ni, 7,1 Proz. Al. In ähnlicher Weise führt er auch Vanadium oder Mangan in das Messing ein (D. R.-P. 254660, 1910), und zwar legiert er zuvor Vanadium mit Kupfer, Aluminium und Eisen oder Nickel oder Mangan, wobei 1 Tl. Vanadium mindestens 2 Tln. Eisen, Nickel und Mangan entspricht. Mit einem Messing von 40 Gew.-Tln. Zink und 45 bis 57 Gew.-Tln. Kupfer werden dann 2 bis 15 Gew.-Tle. der Vorlegierung verschmolzen. Diese eigenartigen „Zinkbronzen“ besitzen eine schöne goldgelbe Farbe, sind zäh und hart und lassen sich bei Rotglut schmieden und pressen. Gegossen haben sie eine Festigkeit von 29 kg/qmm bei 18 Proz. Dehnung. Durch geeignete thermische und mechanische Behandlung lassen sich die betreffenden Werte auf 55 kg/qmm bzw. 24 bis 32 Proz. steigern.

In ihren Festigkeitseigenschaften, ihrer ausgezeichneten Polierfähigkeit und Beständigkeit den Bronzen verwandt, ist die neuere

Legierung, die sich das Meeraner Metallwerk Oschatz und Flechsig durch D. R.-P. 373678, 1921, hat schützen lassen. Sie besteht aus 53 bis 56 Proz. Cu, 2 bis 3 Proz. Co, 10 bis 12 Proz. Ni, 2,5 bis 4 Proz. Fe, 0,20 bis 25 Proz. Zn und 2 bis 3,5 Proz. Al. Eisenoxyd und Aluminium sind hier offenbar nur zugesetzt, um durch ihre Reaktionswärme die Temperatur so hoch zu steigern, daß sich die übrigen Bestandteile legieren können.

Den Messinglegierungen näher steht die für Spritz- und Kokillenguß geeignete Legierung (D. R.-P. 374323, 1921) von Franz Ringel, die neben Kupfer, Zink und Nickel bis zu 10 Proz. Aluminium enthält.

Wohl weniger von praktischer Bedeutung, um so mehr aber Metalle von theoretischem Interesse sind die Heuslerbronzen, Aluminium-Kupferlegierungen mit erheblichem Manganzusatz. Es sind dies Legierungen, die, aus ursprünglich unmagnetischen Metallen erschmolzen, sich überraschenderweise stark magnetisch erweisen. Ein Höchstmaß an Magnetismus fand Heusler bei Legierungen, deren Zusammensetzung der Formel $MnAlCu_2$ entsprach. In den Aluminiumbronzen findet sich die Verbindung $AlCu_3$, in den Heuslerbronzen ist ein Teil des Kupfers isomorph durch Mangan ersetzt. Diese Verbindung, ein Spezialfall des allgemeinen Systems $AlMe_3$, gilt als Träger des Magnetismus. Nach dem Guß soll sich zunächst ein labiles Gleichgewicht mit schwachem Magnetismus einstellen. Durch künstliches Altern (Erwärmen in Xylol $110^{\circ}C$) wird dann die stabile Form mit dem Höchstmaß an Magnetismus erreicht. Bei Rotglut und nachherigem Abschrecken verschwindet er, kann jedoch durch Erwärmen auf $110^{\circ}C$ wieder hervorgerufen werden.

Magnetische manganhaltige Aluminiumbronzen stellt die Isabellenhütte nach den D. R.-P. 144340, 1902, und 144584, 1902, her. Im ersten Falle werden zwei Atomgewichtszahlen Mangan in die Aluminiumbronze eingeführt, mindestens so viel, daß Aluminium die Hälfte des Mangangehaltes ausmacht. Außerdem wird zur Erhöhung der Gießfähigkeit Blei, Zink und Nickel zugesetzt. Das andere Patent ist dadurch gekennzeichnet, daß Manganmetall oder einer Mangankupferlegierung Aluminium, Arsen, Antimon, Wismut, Bor zugeführt wird, und zwar in der Art, daß weniger als 3 Proz. der genannten Elemente mehr als 9 Proz. Mangan entsprechen.

Besonderes Interesse wird gegenwärtig in Deutschland den Sondermessingen entgegengebracht. Der Deutsche Normblattentwurf für Messing (DIN) unterscheidet aluminiumhaltige Sondermessinge, erstens zu Gußzwecken und zweitens zum Warmpressen und Schmieden. Erstere werden verwendet für Propeller, kleine Lager, Überwurfmutter, Beschlagteile usw., letztere für Kolbenstangen, Verschraubungen, Stangen zu Ventilspindeln, Profile, Bleche, Warm-

Tafel moderner techn
I. „Leichte“ Aluminiumlegieru

	Al	Cu	Zn	Ni	Sn	Cr	Si	Fe	Mg	Mn	Bi	Co	Ag	Pt
1	98	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	96	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	92	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	90—92	10—8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	94—98	1,5—4	—	—	—	—	—	0,25 —1,25	0,25 —1,25	—	—	—	—	—
6	98—94	1,5—4	—	—	—	—	—	—	—	0,25 —1,25	—	—	0,25 —1,25	—
7	90	6	—	—	—	—	2	—	—	—	2	—	—	—
8	92	3,5—4	—	+	—	—	—	1,75 —2,75	—	+	—	—	—	—
9	87,85	0,15	—	4,5	—	—	—	—	—	—	—	7,5	—	—
10	92,06	3,7	—	2,8	—	—	—	—	—	1,2	—	—	0,24	—
11	92	+	—	—	—	+	—	—	+	+	Cu, Cr, Mg u. Mn zus. 8			
12	98	0,89	—	—	—	—	0,33	0,52	—	0,32	—	—	—	—
13	89,5	10,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14	85	—	—	—	—	—	—	15	—	—	—	—	—	—
15	85	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—	+	15	—
16	98	—	—	—	—	—	+	+	0,5	—	—	—	—	—
17	96	3,25	—	—	—	—	—	Spur	0,25	0,5	—	—	—	—
18	95	4—5	—	—	—	—	—	—	0,5	—	—	—	—	—
19	89-92,25	6—8	—	1—2	—	—	—	—	0,25—1	0,6	—	bis zu 0,5 statt Ni	—	—
20	92,5	4	—	—	2	—	—	—	1,5	—	—	—	—	—
21	95,5-93,2	3,5—5,5	—	—	—	—	—	—	0,5	0,5—0,8	—	—	—	—
22	79	9,95	—	—	—	—	—	—	11	—	—	—	—	—

Aluminiumlegierungen.

spez. Gew. unter 3; z. T. aus Z. f. M. 1920 ergänzt).

Mo	Wo	Sb	Na	P	S	Cd	Hg	Name	Verwendung	Besondere Eigenschaften	Autor, Hersteller, Patentinhaber
—	—	—	—	—	—	—	—	—	Stangen	—	} Normblatt-entwurf Din (Din = Deutsche Industrie-Norm)
—	—	—	—	—	—	—	—	—	Preßteile	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	Bleche, Bänder, Drähte, Profile	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	in Deutschland: Amerikanische Legierung, in England auch „Leg 12“ genannt	Gußteile, Spritzlegierung	—	—
—	—	—	—	15	—	—	—	—	—	—	Pat. 137 008/01, Walter Rübél
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	dauerhafter als Reinaluminium	Le Ferro-Nickel, Pat. 231 060/09
—	—	—	—	—	—	—	—	Argilit	—	gegen H ₂ SO ₄ und Cyanidlösungen widerstandsfähig	Patent 244 550, Gast. Jaquieres, Transvaal
Ni, Mn und Ti zus. 1 bis 2 Proz.								—	—	—	Pat. 393 698/21, Al.-Ind. Neuhäusen
—	—	—	—	—	—	—	—	—	Spinnspulen- und Kunstseidefabrik	säurefest (gegen H ₂ SO ₄)	} Rieger, Gießerei-Ztg. 1919
—	—	—	—	—	—	—	—	—	Vulkanisier- und Gummiwarenfabrik	unempfindlich gegen Chlörür u. H ₂ SO ₄	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	fäkalische Wässer	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	Nietenmaterial	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	Zündnadel für Springfieldgewehr, Amerika	sehr hart	—
—	—	—	—	—	—	—	—	Alit	für Eisentiegelüberzug	sehr hitzebeständig	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Pat. 302 811/16, Meinicke A.-G.
—	—	—	—	—	—	—	—	Aludur	elektr. Leitermaterial	schwachleg. Reinaluminium	Leichtmetallverwertungsgesellschaft, München
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	widerstandsfähig, wetterbeständig, als Gußstück bearbeitbar	Rieger, 1919
—	—	—	—	—	—	—	—	Duralumin	—	widerstandsfähig gegen Witterung und Seewasser, nicht gegen Säuren u. Laugen	D. R.-P. 244 554
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	dem Duralumin verwandt	D. R.-P. 363 130, Lavandeyro, V. St. A.
—	—	—	—	—	—	—	—	Leg. „Y“	Hartgußlegierung	hohe Festigkeit und Dehnung, wie Duralumin veredlungsfähig	—
—	—	—	—	—	—	—	—	Duralumin	Expeditionsgeräte	korrosionsbeständig	Cohn, 1910, Wilson, 1912
—	—	—	—	0,05	—	—	—	—	für Luftschiffbau	—	Meteorit-Ges. Berlin, E. P. 22 953/01

	Al	Cu	Zn	Ni	Sn	Cr	Si	Fe	Mg	Mn	Bi	Co	Ag	Pb
23	98,8	—	—	—	0,12	—	—	—	1	—	—	—	—	—
24	93-94,36	1,70-0,21	—	—	3-3,15	—	—	—	1-1,58	—	—	—	—	0,7
25	94	—	—	—	1	—	—	—	3,5	—	—	—	—	—
26	weniger als 10	—	+	—	—	—	—	—	mehr als 90	+ Mn, Zn und andere Zusatz				
27	97,6	—	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
28	94-100	6-0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
29	96	2-3	—	—	—	—	—	—	—	2-1	—	—	—	—
30	95	—	—	—	14,5	—	—	—	—	0,5	—	—	—	—
31	92,06	4,6	—	1	—	—	—	—	0,1	—	—	—	—	—
32	94	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—
33	83,33	6,25	—	—	10,03	—	—	—	0,05	—	—	—	—	—
34	Haupt- masse	einige Proz.	—	—	—	einige Proz.	—	einige Proz.	—	—	—	—	—	—
35	90-89	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10	—	—
36	91-88,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8-10	—	—
37	90	—	—	2,5	—	—	—	2,5	—	—	5	—	—	—
38	86-89	—	—	—	—	—	14-11	—	—	—	—	—	—	—
39	82-84	—	—	—	2-0	—	5 Proz. Glas	—	—	—	11	—	—	—
40	77,7	—	—	—	—	—	8,2 Proz. Glas	—	—	—	6,8	—	—	—
41	95,5	3	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
42	95,42	3,07	—	—	0,9	—	0,01	0,06	—	—	—	—	—	—
43	92,2	7,50	—	—	0,25	—	—	0,05	—	—	—	—	—	—

Wo	Sb	Na	P	S	Cd	Hg	Name	Verwendung	Besondere Eigenschaften	Autor, Hersteller, Patentinhaber
—	—	—	0,01	—	—	—	—	—	—	Naylor & Hutton 1913, F. P. 450805
—	—	—	—	—	—	—	Magnalium	für Automobile u. elektr. Apparate	—	Westinghouse-Co.
—	—	—	0,1	—	—	—	—	—	widerstandsfähig gegen Verwitterung, Seewasser und saure Lösungen	Northcott, Naylor & Stanley Paye Hutton, Pat. 266 423
1	einheitlich	—	—	—	—	—	Elektronmetall	CM Sonderlegierung für Stromleitungszwecke, ZI für mechan. Bearbeitung, A Z M basische Festigkeit, A Z Gußlegierung von hoher Dehnung für Kolben zu Explosionsmotoren	spez. Gew. 1,73 bis 1,84, die leichtesten Metalle, durch Alkalien nicht angreifbar	Griesheim-Elektron 1909, Vertrieb seit 1924: Elektronmetall G. m. b. H., Cannstatt-Stuttgart, in Amerika seit 1920 als „Downmetall“
—	—	—	—	—	—	—	—	—	dichter, porenfreier Guß, zäh und fest	Zentralstelle für wissenschaftlich-techn. Unters.
—	0-6	—	—	—	—	—	—	—	fest wie Phosphorbronze, gut gieß-, walz-, schmied-, ziehbar	R. J. Roman, Pat. 82 819/94
—	—	—	—	—	—	—	—	für Luftschiffahrtzwecke	—	Rosenhain
—	—	—	—	—	—	—	—	für Aluminiumgeschirr, Gußlegierung	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Belin, F. P. 414 591
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Bontes, F. P. 395 331
—	0,167	—	0,075	0,033	dazu	0,05	NaHCO ₃	—	hell, silberweiß, leicht bearbeitbar, gut polierbar	A. Manhardt, Pat. 152 784
—	—	—	—	—	—	—	—	—	hart, schmiedbar, fest	Carl Bey, Pat. 90 723
6	—	—	—	—	—	—	—	} Co-reichere für Guß, Co-ärmere schmied- und walzbar	—	Borchers & Schirmeister, Pat. 242 313/11
—	0,8-1,2	—	—	—	—	—	—		außerordentlich widerstandsfähig schwer oxydierbar, gut elekt. leitend, leicht lösbar	Chassereau & Montelon, Pat. 133 910
—	—	—	—	—	—	—	Silumin	Gußlegierung	sehr leicht, hart und fest, besonderes Verfahren der Kornverfeinerung	Metallbank und Metallurgische Gesellschaft Frankfurt a. M.
—	—	—	—	—	—	—	—	—	hartfest	Wilhelmine de l'Or, Pat. 265 924, 268 515, 277 121
—	0,5	—	—	—	—	—	—	—	dichtes Gefüge	—
—	—	—	—	—	—	—	—	für Lager	—	Fletscher, Krause, 1914
—	0,53	—	—	—	—	—	—	—	—	Krieger, Krause, 1914
—	—	—	—	—	—	—	—	für Lager	—	Fletscher, Krause, 1914

II. „Schwere“ Aluminium
 Aluminium ist nicht Grundbestar

	Al	Cu	Zn	Ni	Sn	Cr	Si	Fe	Mg	Mn	Bi	Co	Ag
1	49,5	—	—	49,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	4,6	2,88	Rest	—	+	—	—	+	—	—	—	—	—
3	38,10	—	—	—	—	—	19,10 dazu 9,40 Si O ₂	19,10	—	—	—	19,10	14,30
4	2—3	4—6	Rest	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	30	—	—	40	20	—	—	—	—	—	—	—	10 oder Au 10
6	2,6	20,4	46,2	—	30,8	—	—	—	—	—	—	—	—
7	32	45	5,5	—	16	—	—	—	—	—	1	—	—
8	7,5	91,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	10—5	90—95	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	85,5	—	—	—	11,5	—	—	—	—	—	—	—	—
11	70	—	30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	7,5	90,5	—	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—
13	10	85	—	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14	2	65	33	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15	8—11	—	—	etwa 70—85 oder Co	—	—	3—5	dazu ein Metall der Chromgruppe (W, Mo)	—	—	—	—	—
16	10	—	—	5	—	—	—	85	—	—	—	—	—
17	30	—	70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
18	7	88,5-89,5	—	—	—	—	—	3,5-4,5	—	—	—	—	—
19	+	45—58	40	dazu 2 bis 13 Proz. einer Vorlegierung aus z. B. 39,1 Cu,	—	—	—	—	—	—	34,4 Fe, 18,1 Ni, 8,4	—	—
20	+	55—60	32,5-37,5	dazu 7 1/2 Proz. (Al + Mn + Fe + Sn oder Ni)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
21	10	88	—	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—
22	30	—	70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
23	6—15	—	—	—	—	—	—	Rest	—	—	—	—	—
24	3,7	69,13	8,64	14,81	—	—	—	0,65	—	—	—	—	—
25	1,7	64,8	29,5	—	2,2	—	—	1,5	—	—	—	—	—

Legierungen (spez. Gew. über 3).
 aber unentbehrlicher Nebenbestandteil.

Ti	Mo	Wc	Sb	Na	P	Name	Verwendung	Besondere Eigenschaften	Autor, Hersteller, Patentinhaber
—	—	—	—	—	1	—	zum Ausgießen von chemischen Gefäßen	widerstandsfähig gegen Säuren	Schumacher D. R.-P. 190 234
—	—	—	—	—	1	Tenax	Spritzguß	hohe Schlag- u. Schweißfestigkeit, diese durch Pressen und Walzen noch zu steigern	W. Bauer & Co., Berlin SO 16 Pat. 312761
—	—	—	—	—	—	—	—	—	Armand de Montby Louis Trégel, Victor Coppée, F. P. 19504 (seit 1915)
—	—	—	—	—	—	Österreichische oder Spandauer Legierung	—	—	—
—	—	—	—	—	—	Rosefin	Juwelierarbeiten	gut bearbeitbar	Krupp, 1919; Krause, 1914; Ferrum, Reinglas, 1919 (in Deutschland viel gebraucht)
—	—	—	—	—	—	—	Spritzguß- legierung für Eßlöffel usw.	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	seewasser- beständig	Krause, 1914
—	—	—	—	—	—	Al-Bronze	Münzlegierung der deutschen 5-, 10- u. 50-Pfg.- Stücke	—	—
—	—	—	—	—	—	Al-Bronze	—	sehr widerstands- fähig, goldgelb	Normblatt: Din
—	—	—	—	—	0,5	—	Lötmetall	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	billige Gußlegier.	} Pattison-Manu- facture of Al
—	—	—	—	—	—	Silikonbronze	—	—	
—	—	—	—	—	—	Propellerbronze	—	—	
—	—	—	—	—	—	Herkulesbronze	—	—	
—	—	—	—	—	—	Coopermetall	Schweiß- werkzeuge durch Gießen herstellbar	außerordentliche Härte	D. R.-P. 355 497/20 Hugh Spencer, Cooper, Cleveland/Ohio
—	—	—	—	—	—	—	nichtrostende Eisenlegierung	—	Reissmann, D. R.-P. 383 892/22
—	—	—	—	—	—	—	—	—	D. R. P. 318 346/17 Hedderheimer Kupfer- und Süd- deutsche Kabelwerke Frankfurt a. M.
—	—	—	—	—	—	eisenhaltige Al-Bronze	—	—	—
—	—	—	—	—	7—15	Rübelbronze	—	—	D. R.-P. 254 660
—	—	—	—	—	—	Sondermessing	—	—	Normblatt DIN
—	—	—	—	—	—	Siliciumbronze	—	feuerbeständig	Rieger, Gießereizeitung 1919
—	—	—	—	—	—	Aluminium- messing	—	durch Wärme vergütbare Legierung	D. R.-P. 318 346/18 Hedderheimer Cu-Werke
1,5	1,3	—	—	—	—	Eisenlegierung	—	—	E. P. 171 443
—	—	—	—	—	0,58	—	Autoteile	korrodiert nicht	D. R.-P. 273 978/13
—	—	—	—	—	—	Duranametall	Sondermessing	—	—

preßteile von hoher Festigkeit. Die Legierungen enthalten außer Zink 55 bis 60 Proz. Kupfer und bis zu insgesamt 7,5 Proz. Mangan + Aluminium, Eisen, Zinn oder Nickel. Während in Frankreich Aluminiummessing in großem Umfang benutzt wird, herrscht in Deutschland noch vielfach ein lebhaftes Mißtrauen gegen die Einführung des Aluminiums in Messing. Auf Veranlassung der Deutschen Gesellschaft für Metallkunde sind daher zurzeit eine Anzahl Großversuche im Gange, die diese Frage endgültig lösen sollen. Man will den Einfluß des Aluminiums auf Messing dadurch feststellen, daß man zwei Versuchsreihen durchführt. Erstens: 0, 0,5, 1, 2, 4, 8 Proz. Al auf 68proz. Messing, wobei mit dem Aluminiumzusatz jedesmal der vierfache Betrag an Zink in Wegfall kommt. Zweitens: 0, 0,5, 1, 2, 4, 7, 9,5 Proz. Al werden in 62proz. Messing eingeführt und entsprechend wie erstens die Zinkbeträge gekürzt. Aluminium, richtig eingebracht, gibt einen Werkstoff von hoher Härte, der namentlich als Preßmessing geeignet ist. Spröde kann allerdings ein echtes Messing werden, wenn Aluminiumoxyd entsteht, das unter Umständen ganze Nester im Guß bilden kann. Die goldgelbe Farbe des Messings wird durch Zugabe von Aluminium dann nicht beseitigt, wenn man es im richtigen Verhältnis zu Zink einführt. Auch in England widmet man der Erzeugung von Sondermessing zurzeit große Aufmerksamkeit. Auf Grund des Erstarrungsdiagramms hält Smalley (Institution of British Foundrymen) hauptsächlich Cu-Zn-Legierungen mit 37,2 bis 46,7 Proz. Zink für diese Zwecke geeignet. Aus seinen Untersuchungen geht hervor, daß Zinkzusätze über 49 Proz. das Messing ganz unbrauchbar machen und daß bei Einführung von 1 Tl. Aluminium jedesmal 5,6 Tle. Zink ausscheiden müssen, wenn die physikalischen Eigenschaften der Legierung unverändert bleiben sollen. Es würde zu weit führen, die aus theoretischen Gründen, nach dem Auftreten von α -, $\alpha + \beta$ - und β -Kristallen unterschiedenen α -, $\alpha + \beta$ - und β -Messinge und deren Beeinflussung durch Aluminiumzusätze zu erörtern, zumal abschließende Untersuchungen noch gar nicht vorliegen.

Neben Aluminium führt man in einer anderen Legierungsreihe auch gleichzeitig Mangan in das Messing ein. Man hat auch hier eine Anzahl hochwertiger Sondermessinge mit Zugfestigkeiten bis zu 66 kg/qmm (geschmiedet) und Dehnungen bis 33 Proz. gefunden. Die zurzeit bekannten besten Sondermessinge enthalten durchweg Al, Mn und Fe. Die Legierungen bewegen sich innerhalb weiter Grenzen, und zwar zwischen 57 bis 64 Proz. Cu, 31 bis 40 Proz. Zn, 0,2 bis 4 Proz. Al, 1,1 bis 4 Proz. Mn, 0,1 bis 2 Proz. Fe (und 0 bis 1 Proz. Sn). Die Sondermessinge sind in vielen Fällen einer Veredlung durch Warmbehandlung zugänglich, da eine Umwandlung der α - und β -Kristalle möglich ist. Doch bietet nur ein auf Grund

genauer wissenschaftlicher Tatsachen gefundenes Verfahren die Gewähr, daß die verwickelten Verhältnisse solcher Legierungen günstig beeinflußt werden.

Das Löten.

Im engsten Zusammenhang mit dem Verhalten des Aluminiums als Legierungsbestandteil steht seine Lötfähigkeit.

Das Löten des Aluminiums ist eines der schwierigsten technischen Probleme, das trotz aller Anstrengungen auch heute noch nicht restlos gelöst ist, wenn man auch im Laufe der Jahrzehnte manchen Fortschritt gemacht hat. Heute kann man wohl behaupten: Es ist möglich, Aluminium gut und dauerhaft zu löten, wenn die Lötstelle vor chemischen und elektrochemischen Angriffen, die freilich überall auftreten, wo das Material inhomogen ist und mit feuchter Luft in Berührung kommt, geschützt werden kann. Verhältnismäßig früh erkannte man, daß jede Lötung von vornherein mißlingen muß, wenn es nicht gelingt, das unsichtbar feine Oxydhäutchen, das jedes Aluminiumstück überzieht und das sich namentlich beim erhitzten Metall sehr rasch erneuert, zuverlässig zu beseitigen und dadurch erst ein Einwirken des Lötmetalls auf Aluminium zu ermöglichen. Soll eine innige Verschmelzung von Lot und gelötetem Metall eintreten, so muß das eine in das andere einzudringen vermögen, es muß bei der Schmelztemperatur eine Diffusion stattfinden, oder wie Prof. Wüst in seiner Löt- und Legierkunst sagt: „Das Lot muß die Fähigkeit haben, die zu lötenden Metalle oder Legierungen aufzulösen, so daß ein allmählicher Übergang vom Material des zu lötenden Metalls zum Material des Lotes stattfindet.“ Lot und zu lötendes Metall müssen, wie Prof. Bauer betont, miteinander eine Lösung eingehen. Sie müssen sich legieren. Leider ist nun die Fähigkeit des Aluminiums, mit anderen Metallen Mischkristalle zu bilden, sehr gering. Die Zwei- und Dreistoffsysteme, die zum großen Teil erforscht sind, haben eine völlig befriedigende Lösung nicht gebracht. Vielleicht ist sie von Mehrstoffsystemen zu erhoffen, die vielfach eine erhöhte Mischbarkeit besitzen.

Dabei möchten die Lotlegierungen auch noch anderen Ansprüchen genügen. Der Schmelzpunkt muß niedriger sein als der des zu lötenden Aluminiums bzw. der zu lötenden Aluminiumlegierung. Das Lot möchte in der Farbe dem Aluminium bzw. der jeweils zu lötenden Aluminiumlegierung gleichen. Vor allem möchte möglichst die Potentialdifferenz 0 zwischen Lot und zu lötendem Metall bestehen, um das Auftreten galvanischer Lokalströme auszuschalten. Das Lot muß auch in sich selbst eine wohl- ausgeglichene, homogene Beschaffenheit besitzen. Sein Ausdehnungs-

koeffizient möchte dem des Aluminiums möglichst gleich sein, damit bei Temperaturänderung in der Lötnaht keine gefährlichen Spannungen entstehen. Vielfach stellt man auch die Forderung, daß die Lötnaht nach dem Erkalten bearbeitungsfähig ist. Endlich ist es erwünscht, daß mit ihm nicht nur Aluminium mit Aluminium, sondern auch mit anderen Metallen verbunden werden kann.

Lote, die allen diesen Anforderungen genügen, gibt es, wie schon gesagt, nicht. Auch das Preisausschreiben der Deutschen Gesellschaft für Metallkunde vom Jahre 1921 hat die Frage des „besten“ Aluminiumlotes noch nicht in einer allen Ansprüchen genügenden Weise gelöst. Den ersten Preis erhielten die A.-G. für Anilinfabrikation, Wolfener Farbenfabrik, für ihr eingesandtes Flußmittel, „da es das Löten von Aluminium mit allen Arten von Loten ohne Schwierigkeit gestattet“. Es besteht aus einer Mischung von Chlorcalcium, Lithiumchlorid, Natriumfluorid und Chlorzink und wird als Sudal 21 in den Handel gebracht. Das Löten geschieht in der Weise, daß man das Flußmittel mit wenig Wasser zu einem dünnen Brei anrührt und damit das Aluminium an der gut gereinigten Lötstelle bestreicht. Dann wird die Lötstelle mit kleiner Flamme erhitzt, bis das Wasser verdampft ist und das Flußmittel schmilzt. Aluminium wird von dem Flußmittel nicht angegriffen. Darauf gebrachtes Lot, das aus beliebigen Lötmetallen, wie Zink, Zink- und Zinnaluminiumlegierungen, Zinn, Blei, Cadmium, Antimon, Wismut usw. bestehen kann, fließt nach dem Schmelzen an alle damit bestrichenen Stellen aus. Aluminiumzink- und Zinnlegierungen geben Lötstellen, die sich nach dem Polieren kaum vom Aluminium abheben. Zink als Lötmetall gibt außergewöhnlich feste Lötungen. Es ist für viele Zwecke besonders zu empfehlen.

Mit dem zweiten Preis wurde ein Lot mit Flußmittel von Dr. Wilh. Ackermann, Seehof bei Teltow, ausgezeichnet. Das Lot besteht aus 75 Proz. Zink und 25 Proz. Cadmium, das Flußmittel aus Chlorzink und Chlornatrium. Es war sowohl wegen seiner mechanischen Festigkeit und verhältnismäßigen Korrosionsbeständigkeit, als auch wegen seiner Billigkeit den anderen Loten überlegen, doch wies es wie alle Lote des Wettbewerbes in 1proz. Chlornatriumlösung zwischen Lot und Aluminium beträchtliche Spannungsunterschiede auf. Es war erheblich unedler als Aluminium. Bei Gegenwart von Feuchtigkeit muß daher auch bei ihm mit einem allmählichen Zerfall der Lötstelle gerechnet werden. Gegenstand eines neuen Wettbewerbes wird es daher sein, nach wie vor ein Lot zu suchen, das dem Aluminium in der Spannungsreihe sehr nahe steht. Nach den gegenwärtig herrschenden Anschauungen dürften dies aber aluminiumreiche Lote, und zwar solche von sicherlich nicht einfacher Zusammensetzung sein.

Ist also die endgültige Lösung des schwierigen Problems der Aluminiumlötung noch nicht gelungen, so hat doch das dringende Bedürfnis der Aluminium verarbeitenden Industrie wenigstens bedingte Lösungen gebracht. Es soll nun nicht an dieser Stelle auf die zahlreichen, vielfach unter Patentschutz gestellten „Erfindungen“ von Aluminiumloten eingegangen werden, die man im allgemeinen in die zinn- bzw. zinkreichen Weichlote und die aluminiumreichen Hartlote einteilen kann. Ein Bild davon mögen aber die Tabellen auf folgender Seite geben.

Zinnreichen Lötmitteln gibt man besonders in England und Amerika den Vorzug. So besteht nach einem englischen Patent ein Aluminiumlot aus 55 bis 75 Tln. Zinn, 35 Tln. Zink, 1,65 Tln. Silber und 1,35 Tln. Messing, nebst einigen Teilen als Flußmittel wirkenden Stearins. Ein anderes Verfahren verzinnt erst die Lötstelle nach vorheriger Reinigung unter Mitwirkung von Paraffin und verwendet dann Zinnlote von der Zusammensetzung: 8 bis 15 Proz. Zink + 50 bis 85 Proz. Zinn oder 8 bis 15 Proz. Zink, 5 bis 12 Proz. Aluminium und den Restprozenten Zinn. Mit höheren Werten von Zink und Aluminium steigt die Schmelztemperatur. Die Lötung wird schwieriger, aber haltbarer.

Ein amerikanisches, auch in Deutschland unter D. R.-P. 354670, 1920, geschütztes Patent von John Dean Racine, Wisconsin, V. St. A., empfiehlt Zinn als Lötmetall und beschreibt ein Verfahren zur Herstellung eines Überzugs von Zinn auf Aluminium mittels eines Reibers, der die Oxydhaut zerstört.

Reines Lötzinn empfehlen auch Stark und Wickert in Griesheim (D. R.-P. 352888, 1921) bei dem Verlöten von Aluminium mit Aluminium oder dem Schließen durchlöcherter Aluminiumgegenstände. Sie verwenden eine wachsartige Lötpaste aus Paraffin oder Bienenwachs, Mineralöl und Kolophonium, die sie nach Reinigung der Lötstelle auf diese auftragen. Dann reiben sie etwas nicht ganz auf Schmelztemperatur gebrachtes plastisches Zinn auf, tauchen nochmals in die Lötpaste und fügen nunmehr das dünnflüssig gewordene Zinn nach Bedarf zu. Die Lötstelle überdecken sie noch mit Stearin oder Kolophonium und vollenden den Lötvorgang durch Erwärmen mit einer Gasflamme oder einem gewöhnlichen LötKolben.

Nach D. R.-P. 381980 von Rud. Krahl und Heinr. Klaukien soll ein Lot aus 58 Proz. Zinn, 20 Proz. Aluminium, 20 Proz. Blei und 2 Proz. Kupfer gute Lötungen ohne besonderes Flußmittel ergeben.

Das Aluminium will Angel Mirete Ayala, Madrid, nach D. R.-P. 365124, 1919, durch Zink ersetzt wissen, indem er 33 bis 46 Proz. Sn mit 15 bis 30 Proz. Pb und 32 bis 48 Proz. Zn zu einem Lötmetall vereinigt.

Allgemein bekannte Aluminiumlote (nach L. Sterner-Rainer).

Nr.	Zusammensetzung					Bezeichnung, Quelle	Erstarrungspunkt C		Festigkeit kg/qmm	Härtezahl	Farbe
	Al	Cu	Sn	Zn	Mn		Liquidus	Haltpunkt			
1	95,4	4,6	—	—	—	—	—	540	17,8	71,0	silberweiß
2	92,6	2,6	4,2	0,6	—	—	—	639	15,5	63,4	"
3	87	8	5	—	—	—	—	617	19,6	92,6	"
4	82	6	2	10	—	—	607	565	19,7	96,9	zinnweiß
5	80	8	—	12	—	—	610	589	19,6	112,1	"
6	75	3,5	—	20	1,5	für Guß mittel. Stärke	609	593	19,2	128,8	grauweiß
7	70	3	Sb	22	—	für Spritzguß	—	575	8,3	127,4	"
8	30	20	5	50	—	Mourey's Lot 1	447	431	11,0	219	"
9	20	15	—	65	—	" 2	421	402	18,1	209	"
10	12	8	—	80	—	" 3	397	378	17,6	160	"
11	9	4	—	87	—	" 4	383	375	17,6	146	"
12	7	3,4	—	89,6	—	" 5	—	374	18,6	156	"
13	6	2,6	—	91,4	—	" 6	374	371	15,9	159	"
14	4	2	—	94	—	" 7	772	368	19,7	160	"

Neueste im Handel befindliche „Patent“-Aluminiumlote.

1. Alot und Ferror (Aluminiumlot „Kuhn“)	D. R.-P. 172 627/1905	Al, Sn, Cu + Flußmittel Stearin (Vorlot) Ferror: Sn, Cd, Zn, Sb, Mg, Al (Hauptlot)	Firma Humborg & Co., Barmen
2. Dr. Inhoffens Aluminiumlot	—	—	Generalvertr.: Karl Thesenwitz, Berlin-Wittenau, Lindenstr. 41
3. Huerco	D. R.-P. 390 886/1921	Al, Zn, Cu, Sn (Vorlot) Al, Zn (Hauptlot)	Carl Peicher, Duisburg
4. Fludor	D. R.-P. 386 177/1922	Al, Zn, Pb mit oder ohne Cd oder Sn oder beide + Li oder Ce oder beide	Classen & Co., Berlin-Nieder- schönhausen/Duisburg
5. Conti	D. R.-P. a	ein Verfahren: Vorlot—Gießlot—Nachlot acht Speziallote aus Al, Cu, Zn, Sn, Cd	Konzelmann & Schulz, Char- lottenburg
6. Almin	D. R.-P. a	Zn-Halogenid als Flußmittel Al, Sn, Zn als Lot	Schad & Gabler, Heidelberg
7. Dr. Rostokys Aluminiumlot „Firmit“	D. R.-P. 382 258/1922	Al, Zn, Mg (Mischkristall) 3 Proz. Bor + 1 Proz. Cer	Dr. Rostokys, Berlin NW, Kaiserin-Augusta-Allee 4, Metallo-chemische Fabrik

Eine eigenartige Lösung des Problems. Aluminium mit Aluminium zu verbinden, findet sich in dem D. R.-P. 388573, 1921, von Dr. Melzer, Hörde. Er nutzt die Eigenschaft organischer Säuren, wie der Essig-, Apfel-, Zitronen-, Salicyl-, Benzoe- usw. Säure aus, Aluminium unter Bildung der entsprechenden Aluminiumsalze zu lösen. Diese Salze haben die Eigenschaft, im geschmolzenen Zustand Aluminiumstücke kittartig zu binden. Die Säuren sind hier also nicht bloß Reduktions- und Fluß-, sondern zugleich Bindemittel. Da es sich aber nur um eine Adhäsionserscheinung handelt, darf man in diesem Falle eigentlich nicht von einem Löten, sondern nur von einem Kitten reden.

Die vorerwähnte Kittmasse und die zinnreichen Lote schmelzen schon unter 200⁰C. Es ist klar, daß diese für viele Zwecke zwar vorteilhafte Eigenschaft sie doch für solche mit Wärmebeanspruchung ganz untauglich macht.

Den Zinnloten schließen sich die zinkreichen Lote an, deren Schmelzpunkt etwa bei 300⁰C liegt. Es sind die als Weich- und Schmierlote bekannten zahlreichen Modifikationen, die unter allen möglichen Decknamen, wie Fludor (Classen & Co., Berlin, Niederschönhausen), Almin (Schad & Gabler, Heidelberg), Conti (Fabrikations- und Handelsgesellschaft Conti, jetzt Konzelmänn & Schulz, G. m. b. H., Charlottenburg 2), Huerco (Karl Peicher, Duisburg) usw., zumeist durch Patent geschützt, im Handel sind. Eigentümlich ist diesen Loten vielfach das Auseinanderliegen der Schmelz- und Erstarrungspunkte. Solche Lote nehmen beim Erstarren längere Zeit eine breiige Beschaffenheit an und lassen sich dann sehr gut kneten und formen, so daß man sie nicht mit Unrecht als Modellierlote bezeichnet.

Hierfür einige Beispiele!

1. Eines der älteren „Patentlote“, das noch immer auf dem Markt erscheint, ist das Aluminiumlot von Otto Kuhn, Robert Gebhart und Heinrich Grabert, D. R.-P. 172627, 1905, „ein Verfahren zum Löten von Aluminium und aluminiumreicheren Legierungen mittels Vorlot (Allot) und Hauptlot (Fermor)“. Das leichtschmelzende „Allot“ besteht aus 19 Tln. Zinn und 1 Tl. Kupfer und Stearin als Flußmittel. Das strengflüssige Hauptlot enthält 42 Tle. Zinn, je 5 Tle. Cadmium, Zink und Antimon, 2 Tle. Magnesium und 1 Tl. Aluminium.

2. D. R.-P. 386177, 1922, der Metallbank und Metallurgischen Gesellschaft, Frankfurt a. M., als „Fludor“ von der Firma Classen & Co., G. m. b. H., Berlin-Niederschönhausen, vertrieben: Aus Zink, Aluminium, Blei, Zinn und Cadmium zusammengesetzte Lote sind bekannt. Sie lassen sich schwer mit dem

zu lötenden Aluminium verbinden und sind gegen mechanische Beanspruchung und chemische Einflüsse nicht sehr widerstandsfähig. Überraschenderweise wurde nun gefunden, daß ein Lot aus Zink, Aluminium, Blei mit oder ohne Zusatz von Cadmium oder Zinn oder beider durch Hinzufügen von Cer oder Lithium einzeln oder zusammen seine Haftfähigkeit steigert. Diese Zusätze werden während des Lötvorganges in Mengen bis zu 30 Proz. zugegeben. Sie reduzieren die Oxydhaut und ermöglichen so, ohne besonderes Flußmittel, eine innige Berührung von Lot und Aluminium.

Die Lötung erfolgt bei einer Temperatur von 350 bis 450° C, ist also einerseits so niedrig, daß ein „Verbrennen“ des Aluminiums nicht eintreten kann, andererseits doch so hoch, daß eine ausreichende Wärmebeständigkeit der Lötstellen gesichert ist.

„Fludor“ lötet auch Aluminium mit Messing, Kupfer, Eisen usw. Seine Festigkeit ist größer als die von Reinaluminium.

Überlappt gelötete Aluminiumstreifen zeigten eine Haftfestigkeit von 350 bis 390 kg/qcm, der Bruch erfolgte stets außerhalb der Lötstelle.

Die metallographische Prüfung des Lotes ergab ein Kleingefüge aus drei (α , β , γ) Kristallarten, von denen die ersten (α = Kristall) sich wenig mit Aluminium zu binden vermögen (Mischkristalle). Bei sorgfältiger Ausführung der Lötung verschwand also regelmäßig die feine Trennungsnah zwischen Lot und Aluminiumgegenstand.

Auch die chemische Widerstandsfähigkeit des „Fludors“ ist sehr gut. An feuchter Luft ist es widerstandsfähiger als die meisten gebrauchten Aluminiumlote.

Dem Einfluß organischer Säuren ausgesetzt, verhält es sich wie Reinaluminium.

3. Sehr rasch haben sich auch die erst seit August 1923 in Verkehr gebrachten „Contilote“ in die Großindustrie einzuführen. vermocht.

Es sind dies ausgesprochene Weichlote von überraschend großer mechanischer und chemischer Haltbarkeit. Als D. R.-P. angemeldet, sind sie nach Urteil des beeidigten Sachverständigen für chemische Industrie, Dr. O. Makowka, Berlin, Speziallote aus Al, Cu, Zn, Sn und Cd von bestimmten, für die verschiedenen Lötzwecke praktisch erprobten Mischungsverhältnissen.

Zur Erzielung des Lötterfolgs werden zu einer Lötung drei Lote benutzt: „K“ das Vorlot zur Behandlung der Bruchränder, „G“ das Gieß- oder Füllot und „N“ das Nachlot zum Übergießen der Lötstelle. Lot „K“ legiert sich mit dem Aluminium der Bruchränder aufs innigste. Lot „G“ zeigt besondere Festigkeit. Es muß

flüssig dem gleichfalls noch flüssigen „K“ zugefügt werden, wenn eine vollkommene Lötung erfolgen soll.

Lot N besitzt zwar nicht die große mechanische Festigkeit des G, dafür aber eine hervorragende chemische Widerstandsfähigkeit. Da es bereits bei 150°C schmilzt, kann es bequem auf die Lötstelle als Deckschicht aufgetragen werden.

So gelötete Bleche aus Reinaluminium und Gießlegierungen widerstanden einer 1proz. Kochsalzlösung, einem für Aluminiumlegierungen besonders aggressiven Elektrolyten, in 50stündiger Kochdauer überraschend gut. Eine Korrosion war kaum feststellbar.

Hergestellt wurden die Lote in acht Varietäten als Vorlot, Gießlot, Nachlot, Klempnerlot I und II, Silberlot und Pulverlot I und II.

Lot „V“ fließt bis 270°C. Es besitzt große Festigkeit und eignet sich sehr gut zur Reparatur von Aluminiumgußlegierungen. Gleiche Eigenschaften besitzt K I. Es ist für feinere Lötungen kleiner Gegenstände bestimmt, kann aber nicht für Lötung von Kochgeschirren benutzt werden, da es elektrolytisch angegriffen wird.

K II dagegen paßt ausgezeichnet für Aluminiumgegenstände der Nahrungs- und Genußmittelbranche. Es ist hygienisch völlig einwandfrei und entspricht in seinen Eigenschaften dem Nachlot und dem wegen seiner schönen weißen Farbe Silberlot „S“ genannten Lot. Es schmilzt mindestens bei 150 bis 170°C, ist sehr gut hämmer- und dehnbar, sehr geeignet für Lötungen von Gußlegierungen, wenn jegliche Spannung zu vermeiden ist.

Das Gießlot G zeigt besonders hohe Festigkeit. Es schmilzt erst bei 360°C.

Das Contilote P I ist ein weißes, stark hygroskopisches Pulver, mit einem Schmelzpunkt von 170°C. Es dient nur als Oxyddichtungsmittel bei Lötungen von Aluminiumblech bzw. Duralumin, das während des Arbeitsganges siedeartig verdampft. P II endlich ist ein graues Pulver. Als kombiniertes Fluß- und Füllmittel ermöglicht es neben der Bindung von Aluminiumteilen auch den Ersatz fehlender Stücke.

An dem Contiverfahren rühmt man besonders die „Tatsache, daß eine Oxydation der Metalle an der Lötstelle, wie dies bei anderen Loten beobachtet worden ist, nicht eintritt, und demzufolge also das Lot im Laufe der Jahre vom Aluminium nicht wieder abgestoßen werden kann“.

Auch ist die Lötstelle unsichtbar, da die Lötstelle die Aluminiumfarbe beibehält.

4. Von den beiden anderen — Dr. Inhoffens Aluminiumlot und „Alumin“ —, die zurzeit in den Fachblättern empfohlen werden, sei nur noch das letztere kurz beschrieben.

Die Erfinder, deren D. R.-P. im Jahre 1924 zur Anmeldung gekommen ist, machen vor allem die Alkalimetalle der gebräuchlichen Löt- und Flußmittel für die geringe Dauerhaftigkeit der Lötung verantwortlich. Sie wenden deshalb Salze an, die „die Oxydhaut sicher zerstören“ und das Aluminium zu gleicher Zeit mit einem edleren Metall „legieren“. Als wirksamen Bestandteil ihrer Lötmittel verwenden sie Zinkhalogenid. Alkalien und deren Halogene dagegen vermeiden sie völlig.

Als Lötmetall benutzen sie schließlich ternäre Aluminium-Zinn-Zinklegierungen, die sie mit dem Lötmittel zu einem grauen, körnigen Pulver vereinigen.

5. Endlich nennen wir noch D. R.-P. 390 886, 1924, von Stumpf, Köln. Das Lot wird von der Firma Carl Peicher, Duisburg, als „Huerco“ vertrieben. Es ist eines der bekanntesten Weichlote. In der Patentschrift wird ausgeführt: Die handelsüblichen Aluminiumlote schmelzen zu plötzlich. Unrichtige Zusammensetzung und fehlerhafte Herstellung ist schuld daran. Daher wird Schweißen bevorzugt. Schweißen aber erfordert eine sehr hohe Temperatur, die bei hohlen Körpern gefährlich werden kann, indem sich diese beim Erkalten zusammenziehen, verwerfen, ja, sogar springen. Das neue Patent enthält die nämlichen Bestandteile wie die bekanntesten Aluminiumlote: Zn, Al, Cu, Sn. Seine Überlegenheit gründet sich auf die Reinheit der Grundstoffe und das eigenartige Mischungsverhältnis (Zn und Sn müssen bleifrei sein). Auch Verlöten mit anderen Metallen — Kupfer, Messing, Bronze, Zink — ist möglich. Desoxydationsmittel sind nicht nötig, doch müssen die Bruchränder rein sein. Die Modellierfähigkeit des Lotes gestattet die Nachbildung abgebrochener Stücke (wichtig für Kurbelgehäuse bei Automobilen). Das Lot wird als Vorlot mit 22 Tln. Zink, 3 Tln. Aluminium, 0,2 Tln. Kupfer und 2 Tln. Zinn (Schmelzpunkt 350° C), und als Hauptlot mit 4 Tln. Zink, 1 Tl. Aluminium (Schmelzpunkt 400° C) geliefert.

Das Huercolot nähert sich schon in seiner Arbeitsweise der Methode des Hartlötens. Die elektrolytische Zersetzlichkeit ist freilich nicht völlig aufgehoben. Nach Dr. Rostosky soll es in der Praxis schon Lote geben, die praktisch zwar völlig ausreichende Festigkeit und Dauerhaftigkeit zeigen, deren Schmelzpunkte aber bloß 60 bis 70° C unter dem des Aluminiums liegen, die also nur in einem schwierigen Hartlötprozeß verwendbar sind. In der deutschen Geschirrinindustrie sollen z. B. Wasserkessel seit Jahren mit solchen Loten gelötet werden. Auch die neueste Patentliteratur enthält Vorschläge zu dieser Arbeitsweise. So sieht die AEG zufolge

D. R.-P. 318148, 1918, ein sicheres Gelingen der Lötung Aluminium mit Aluminium, wie allgemein anerkannt, in der Anwendung eines geeigneten Flußmittels. Als solches verwirft sie aber die üblichen Halogene der Alkali- und Erdalkalimetalle, empfiehlt vielmehr die Anwendung von Gläsern oder glasartigen Stoffen, die durch Aluminium reduzierbare Metalle enthalten, z. B. ein Gemisch aus 30 Tln. Bleiglanz, 20 Tln. Kieselsäure und 10 Tln. Borax. Bei der Schmelztemperatur (390° C) werden geringfügige Mengen von Blei abgeschieden, die ein gutes Haften der Lötträger verbürgen. Durch Hämmern und Walzen, sowie gleichzeitiges starkes Erhitzen soll die völlige Verschmelzung der zu lötenden Teile eintreten.

Auch das D. R.-P. 379569, 1922, von Augusto Passalacqua, Paris, bringt als Neuheit ein besonders hergestelltes Flußmittel aus Natriumchlorid, Natriumchlorat, Natriumborat, Magnesiumchlorid und Natriumsulfat in einer Paste aus Paraffin und Stearin, während als Zugabematerial ein Aluminiumstab empfohlen wird, so daß hier, wenn dieser „Stab“ nicht eben eine vom Material des Werkstücks abweichende Aluminiumlegierung ist, eigentlich von einer „Schweißung“ geredet werden muß. Eine Hartlötung ohne besonderes Flußmittel soll endlich nach Ernst Ohmenhäuser, Stuttgart, D. R.-P. 340294, 1919, möglich sein, wenn man eine unter bestimmten Mischungsverhältnissen und nach besonderen Verfahren hergestellte Aluminiumlegierung als Lot verwendet.

Er empfiehlt 6,1 Proz. Cu, 2,5 Proz. Fe und 1,5 Proz. Si auf Weißglut zu erhitzen, mit 85 Proz. Al zu mischen und zum Schluß 0,5 Proz. Pb und 4,5 Proz. Zn zuzusetzen.

Über den gegenwärtigen Stand des Hartlötverfahrens urteilt Dr. Rostosky in seinem weiter unten angeführten Patent: Die Arbeitsweise des Hartlötverfahrens (Anwendung von Flußmitteln) ähnelt derjenigen der autogenen Schweißung. Der Nachteil der Zersetzlichkeit beim Weichlöten ist völlig beseitigt, aber der Vorteil der bequemen Arbeitsweise (beim Weichlöten genügt LötKolben) ist nicht erreicht. Den Nachteil der hohen Arbeitstemperatur des autogenen Schweißens hat es noch nicht überwunden, während es den Vorteil der Unzersetzlichkeit, Festigkeit und unveränderlichen Farbe erreicht hat. Ziel der gemeinsamen Arbeit von Wissenschaft und Praxis muß es sein, Legierungen zu suchen, in denen Aluminium vorherrscht und andere Metalle nur so weit vorhanden sind, daß einerseits die zur galvanischen Zersetzung führende Wirkung bis zur Unschädlichkeit vermindert, andererseits der Schmelzpunkt bis zur Möglichkeit einer leichten Arbeitsweise erniedrigt wird.

Diese Gedanken versucht Rostosky in seinem D. R.-P. 382258, 1922, zu verwirklichen. Grundmetall des Lotes ist Aluminium. Ihm werden nur so viel Fremdstoffe zugefügt, als sie noch

mit dem Grundmetall Mischkristalle zu bilden vermögen. Ferner wird der Schmelzpunkt durch Einführung bisher noch nicht verwandter Elemente so weit erniedrigt, daß die Schwierigkeiten der autogenen Schweißung überwunden werden und eine leichtere Arbeitsweise möglich ist. Dies soll erreicht werden durch die Metalle der seltenen Erden und ihnen nahestehende Metalloide, deren höhere Oxydationsstufen Säuren sind; z. B. Al-Zn-Mg (Mischkristall) + 3 Proz. Bor + 1 Proz. Cer. Als „Firinit“-Lötmittel werden dem genannten Patent entsprechende Lötmittel durch die „Metallo-chemische Fabrik“ des Erfinders, Berlin NW 87, Kaiserin-Augusta-Allee 4, in den Handel gebracht, und zwar ein „Blech“lot von 1 mm Stärke zum Löten von Reinaluminium und Lotstäbe von 4, 6, 8 und 10 mm Durchmesser für Aluminiumlegierungen.

Es sind die „Edel“lote des Hartlötverfahrens.

Daneben werden noch zwei für viele Zwecke ausreichende Modellierlote, ein Lot *N*, niedrig schmelzend, unter 200°, und ein Modellierlot *H*, zwischen 300 und 400° schmelzend, vertrieben.

Das Schweißen des Aluminiums.

Elektrolytische Zersetzungen sind im allgemeinen ausgeschlossen, wenn das Aluminium keine galvanischen Ketten mit Fremdmetallen bilden kann. Autogene Schweißung aber meidet diese, sie ist das Löten von Aluminium mit Aluminium und bietet daher die größte Gewähr für Haltbarkeit.

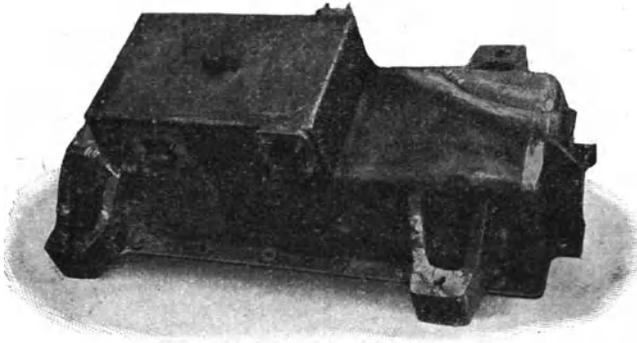
Infolgedessen wird dieses Verfahren trotz technischer Schwierigkeiten in ausgedehntem Maße verwendet. Bei der Herstellung großer Behälter der Brauerei-, Spiritus- und chemischen Industrie, in der Elektrotechnik, im Automobil- und Flugzeugbau ist es heute ganz unentbehrlich.

Die Versuche, Aluminium zu schweißen, gehen bis in die Mitte der 90er Jahre des vorigen Jahrhunderts zurück, als die Industrie anfang, das wohlfeiler gewordene Metall für Konstruktionszwecke heranzuziehen. Die Übertragung der bei Eisen benutzten Schweißmethoden erwies sich bald als unmöglich. Die immer vorhandenen, bei der Schmelztemperatur noch festen Oxydhäutchen verhindern jede Vereinigung der Lötträger. Man versuchte zunächst die mechanische Entfernung. Allein die namentlich in der Hitze der Schweißflamme sich immer aufs neue bildende Oxydschicht ließ auch diese Versuche mißlingen. Einen geringen Erfolg brachten die D. R.-P. 98943 und seine Fortbildung D. R.-P. 109433. Sie versuchten die Schweißung mit Hilfe des elektrischen Stromes, indem sie das Werkstück zu dem einen Pol, einen dünnen Kohlenstab zum anderen Pol machten und Starkstrom hindurchschickten. Während des Stromdurchganges suchten sie durch Hin- und Herreiben des

Kohlenstabes in der Schweißfuge die feinen Oxydhäutchen zu zerreißen und so eine Vereinigung der Löt Nähte zu erreichen. Wegen seiner Umständlichkeit und Unzuverlässigkeit ist diese Methode längst verlassen.

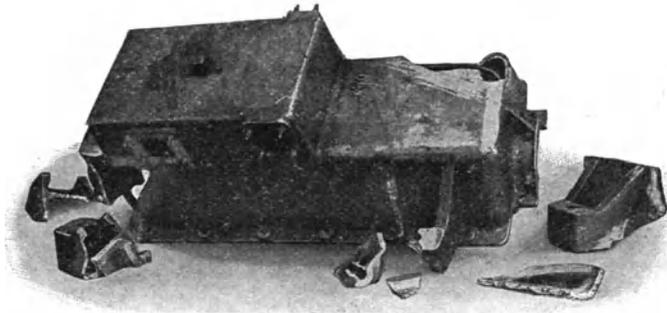
Die Lösung des Problems brachte erst das Verfahren des Schweizer Chemikers Schoop, der die störende Oxydschicht während

Fig. 53.



Motorgehäuse nach der autogenen Schweißung.

Fig. 54.

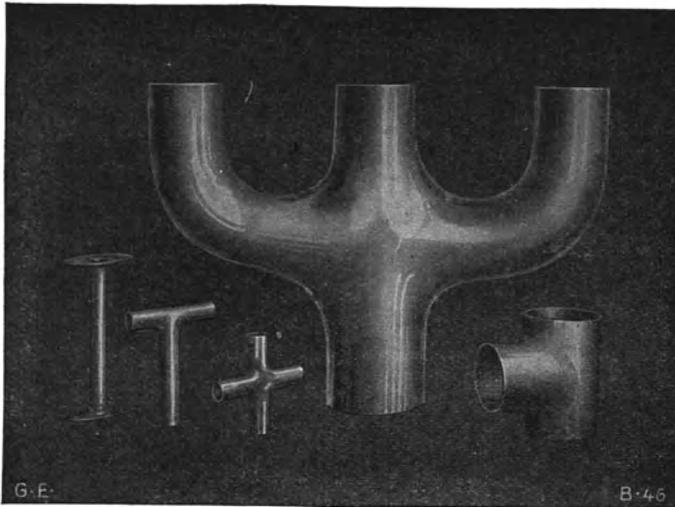


Motorgehäuse vor der autogenen Schweißung.

des Schweißvorganges auf chemischem Wege zu beseitigen lehrte. Über die grundlegende Bedeutung dieses Verfahrens urteilt das Oberlandesgericht Frankfurt a. M. in einer rechtskräftigen Entscheidung vom 17. März 1915 (nach einer Druckschrift von Griesheim-Elektron): „Es bleibt das Verdienst der durch das klägerische Patent geschützten Erfindung, die autogene Schweißung des Aluminiums, die alle früheren Erfindungen überhaupt nicht oder doch nicht mit

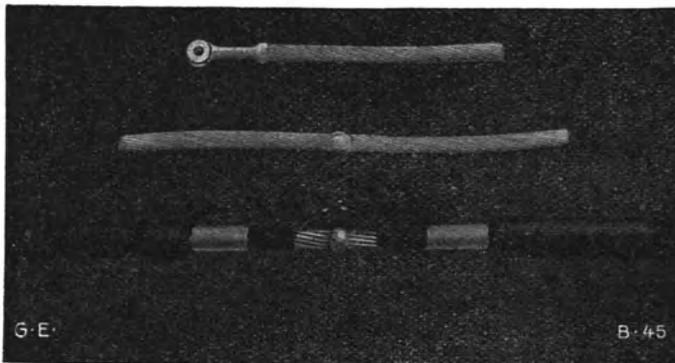
uneingeschränktem Erfolge erreicht hatten, ermöglicht und innerhalb des ihr gewährten Schutzes zum Gemeingut der Industrie gemacht zu haben.“ Geschweißt wird mit der Azetylen-Sauerstoff- oder der Wasserstoff-Sauerstoff-Flamme mit einem Überschuß von Azetylen oder Wasserstoff, also mit reduzierendem Gasgemisch.

Fig. 55.



Autogen geschweißte Flugzeugteile (Griesheim-Elektron).

Fig. 56.



Aluminiumkabel mit dem Kabelschuh und -stumpf zusammengeschweißt.

Patentiert wurde dieses wichtige Verfahren in Deutschland mit D. R.-P. 222960, 1906, der A.-G. für autogene Aluminiumschweißung nach der Erfindung von Schoop und durch Zusatzpatent D. R.-P. 224284, 1907, verbessert. Schoop sah als erster die grundlegende Vorbedingung einer guten Schweißung in der Entfernung der

Oxydschicht, auf chemischem Wege. Als Flußmittel empfiehlt er z. B. 60 Tle. Kalium-, 12 Tle. Natriumchlorid und 4 Tle. Kaliumsulfat (bei weniger heißer Flamme etwas mehr oder ein eutektisches Mischungsverhältnis). Im Zusatzpatent führt er noch Fluoride als Bestandteil des Flußmittels ein. Alle Rechte aus diesen Patenten gingen 1918 an Griesheim-Elektron über, die das Flußmittel noch weiter verbesserten: D. R.-P. 315231, 1917. Außer den Alkalichloriden wollen sie auch andere Halogenide zumischen. Sie können dadurch den Schmelzpunkt je nach Anwendung einer mehr oder weniger heißen Flamme abstimmen. Z. B. 4 KCl, 3 NaCl, 1 KBr, 1 NaF. Der Schmelzpunkt ist 600°C , das Gemisch für Reinaluminium geeignet. D. R.-P. 319684, 1817: Als Schweißmittel kommen nur solche Salze zur Anwendung, die in Wasser löslich sind, insbesondere Zugabe löslicher Fluoride zu Alkalihalogeniden. Nach den Angaben der vier Patente wird das Schweißpulver „Autogal“ von Griesheim-Elektron hergestellt.

Erwähnung verdient noch das von obigen Angaben völlig abweichende Aluminiumschweißpulver der Feuerbach A.-G., Stuttgart. Das Gemisch besteht aus Kaliumbisulfat, Phosphorpentoxyd, Kaliumacetat, Borax, Kaliumnitrat, Oxalsäure, Kryolith, gelbem Blutlaugensalz und Talkum (D. R.-P. 374117, 1921).

Mit Hilfe des Schoopschen Verfahrens ist es möglich, Aluminiumgegenstände jeder Größe und Materialstärke zu bearbeiten, ganz gleichgültig, ob es sich um gewalztes, gezogenes oder gegossenes Material handelt. Mit dem gleichen Schweißpulver gelingt auch die Verbindung des Aluminiums mit anderen Metallen, z. B. Eisen, Kupfer und Messing.

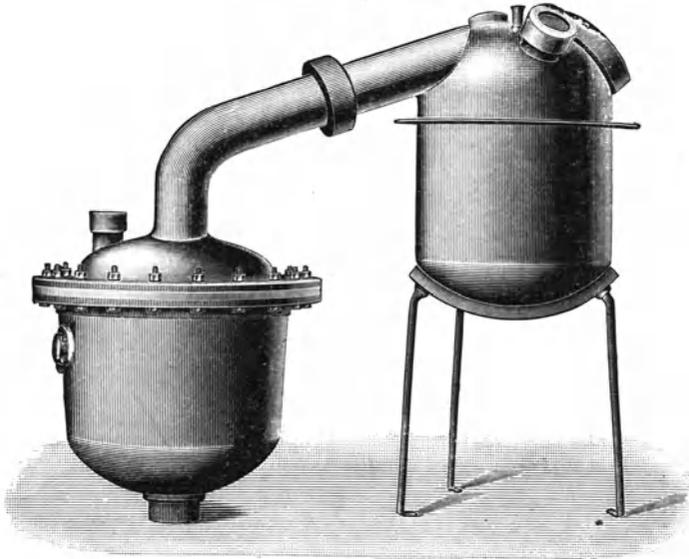
Bei der autogenen Schweißung werden die Bruchstellen nicht nur bis zur Verflüssigung erhitzt. Es wird auch Aluminium in die Nahtstelle eingeführt. Die dadurch nicht immer zu vermeidende Inhomogenität kann Anlaß zu elektrolytischen Zerstörungen geben.

Weitere Nachteile der Schweißung ergeben sich auch aus der Notwendigkeit, Aluminium bis zum Schmelzpunkt zu erwärmen. Das dünne Aluminiumblech der Wirtschaftsgeschirre schmilzt dabei leicht durch, bei umfänglicheren Apparate teilen mit größeren Dicken entstehen sehr oft gefährliche Spannungen, die das Werkstück beim Abkühlen verziehen oder Risse hervorrufen. Der ganze Arbeitsvorgang erfordert große Erfahrung und eine umständliche Apparatur, was der Anwendung des Schweißprozesses vielfach hinderlich ist.

Gänzlich ohne Zugabe von flüssigem Metall arbeitet die Firma W. C. Heraeus, Hanau, nach D. R.-P. 118868, 1900 (Fig. 57 u. 58). Bei diesem Verfahren werden die zu vereinigenden Aluminiumstücke nur so weit (400°C) erhitzt, daß sie weich genug sind, um mit dem Hammer zusammengeschweißt werden zu können. Sehr schwierig wird dieses sogenannte Hämmerschweißverfahren dadurch, daß das Aluminium sich nur innerhalb eines engbegrenzten Temperaturbereichs so

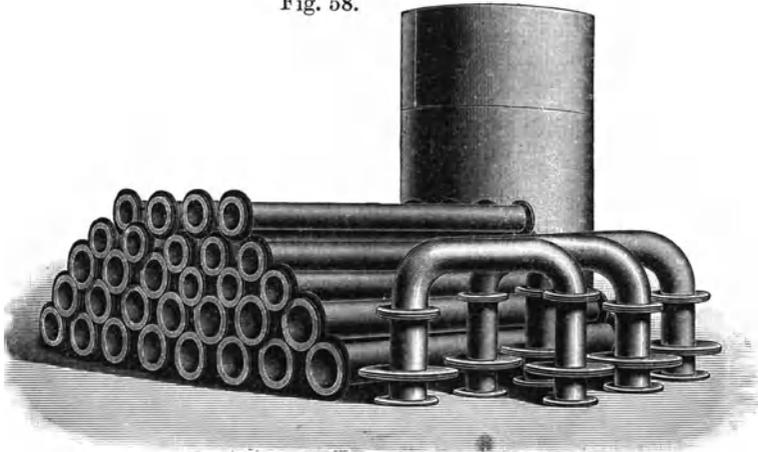
bearbeiten läßt. Wird dieser überschritten, so wird es brüchig und zerfällt unter dem Hammer zu Pulver. Es liefert aber dort, wo es anwendbar ist und mit Geschick ausgeführt wird, die vorzüglichsten

Fig. 57.



Geschweißt nach D. R.-P. 118868 (Heraeus, Hanau).

Fig. 58.



Geschweißt nach D. R.-P. 118868 (Heraeus, Hanau).

Ergebnisse. Man kann so geschweißte Bleche ohne Aufbrechen der Schweißnaht sogar walzen, ja, die Schweißstellen überhaupt nicht mehr im Schnitt erkennen. Sehr wichtig ist das Verfahren beim

Verschweißen von Drähten für elektrische Fernleitungen geworden, bei dem es gegenwärtig wohl ausschließlich angewandt wird.

Auch das beim Eisen und anderen Metallen so erfolgreiche Verfahren der elektrischen Widerstandserhitzung bzw. Schweißung hat man nach mancherlei Mißerfolgen auf Aluminium anzuwenden gelernt. Die Gesellschaft für elektrotechnische Industrie, Berlin, hat in den D. R.-P. 288946, 1911, 290134 und 290135, 1912, „ein Verfahren zum elektrischen Schweißen von Messing, Aluminium und Stoffen gleicher Wärmeleitfähigkeit durch elektrische (richtig bemessene) Widerstandserhitzung bei Elektrodendruck (von 30 kg)“ ausgebildet und die Siemens-Schuckertwerke in Siemensstadt bei Berlin haben sich in den Patenten 305669, 1916, 318500, 1918 und 322414, 1917 „ein Verfahren zum Punktschweißen schwer schweißbarer Metalle, vorzugsweise des Aluminiums, schützen lassen, das in der Hauptsache darin besteht, daß die Schweißnähte (z. B. von Drähten oder Litzen) nach starkem „Verkneten“ auf Dunkelrotglut (also unter 400°) gebracht werden. Die elektrische Schweißung erfolgt so, daß die zu schweißenden Aluminiumteile zwischen schwer schmelzbare Metallstücke gelegt werden, durch die der elektrische Strom hindurchgeht.

Endlich sei noch ein Verfahren der Aluminiumschweißung erwähnt, das Robert Hopfelt, Hamburg, unter D. R.-P. 397242, 1922, geschützt wurde. Ihm wird eine besonders leichte und sichere Ausführbarkeit nachgerühmt. Es erfolgt unter Benutzung des Meurer-Schoopschen Metallspritzverfahrens, indem die zu schweißenden Stellen nach Vorwärmung auf höhere Temperatur (etwa 300°C), die aber noch beträchtlich unter dem Schmelzpunkt liegen muß, mit Hilfe der Spritzvorrichtung mit Aluminium bedeckt werden. Schon dadurch entsteht eine bemerkenswerte Festigkeit, die man durch Erhitzen mit einer einfachen Gebläseflamme noch steigern kann. Besonders hohe Werte erhält man durch Hämmern der noch heißen Stellen. Auf diese Weise kommt man auf Zugfestigkeiten bis zu 90 Proz. der Zugfestigkeit des Aluminiums, was für viele Zwecke ausreichen dürfte. Ein Nachteil des Verfahrens ist die etwas spröde Beschaffenheit des eingespritzten Aluminiums. Wo jedoch die Schweißnaht keine allzu großen Biegebeanspruchungen auszuhalten hat, dürfte das geschilderte Verfahren wegen seiner leichten Ausführbarkeit am Platze sein.

Die Oberflächenveredlung des Aluminiums.

Reinigen, Polieren, Beizen und Färben sind wichtige Aufgaben jeder Veredlung metallischer Oberflächen. Chemisch leicht angreifbaren Metallen zuverlässig haftende Schutzüberzüge zu geben,

ist eine andere wichtige Aufgabe der Oberflächenbehandlung, die gerade bei Aluminium von besonderer Bedeutung ist.

Das Reinigen von Aluminiumgegenständen macht keine Schwierigkeit, wenn es sich wie bei Haushaltsgesetzgerät lediglich um Erzeugung einer sauberen Oberfläche handelt. Mechanische Säuberung mit warmem Wasser und feinkörnigen Scheuermitteln (feiner Quarzsand, Tripel, Holzasche usw.), unter Umständen mit verdünnter Seifenlösung versetzt, führt meist zum Ziele. Sollte dennoch eine dunkle Verfärbung der Oberfläche zurückbleiben, so bringt ein kurzes Aufsieden mit verdünnter Alaunweinsteinalösung ($\frac{1}{3}$ Weinstein + $\frac{2}{3}$ Alaun, dann ein Eßlöffel in 1 Liter Wasser) den ursprünglichen silbergrauen Metallglanz wieder hervor. Die Anwendung starker Säuren und Basen ist dagegen im allgemeinen zu vermeiden, da durch sie das Grundmetall zerstört wird.

Sollte ihre Benutzung infolge der Natur der Verunreinigungen notwendig werden, so ist ihre sofortige und sorgfältige Entfernung nach erfolgter Reinigung unbedingt zu veranlassen. Der sich in den Lagertanks und Gärbottichen aus Aluminium allmählich absetzende Bierstein kann z. B. nur durch starke Salpetersäure so weit zermürbt werden, daß seine Beseitigung möglich wird. Andere Säuren würden, trotz vielleicht größerer Lösefähigkeit, das Grundmetall viel zu sehr angreifen.

Der in Aluminiumkochkesseln auftretende Kesselstein, der übrigens in geringer Dicke infolge seiner Schutzwirkung gegen chemische Angriffe sogar nützlich ist, kann dadurch bequem beseitigt werden, daß man das Gefäß längere Zeit erhitzt und darauf kaltes Wasser hineingießt. Bei dieser Behandlung wird der Kesselstein bröcklig und mürbe, da nach Dr. Spangenberg, Jena, das als Aragonit vorliegende Calciumkarbonat dadurch in die stabilere Form des Calcits übergeht, wodurch ein Ausdehnen und Zusammenziehen in verschiedenen Richtungen innerhalb der einzelnen Kristalle bewirkt wird, was notwendigerweise ein Auflockern zur Folge haben muß.

Etwas schwieriger ist die Reinigung von Aluminium, wenn zuverlässig haftende Farbanstriche aufgetragen werden sollen. Die Entfernung auch des geringsten Fetthauches ist da geboten. Motorgehäuse aus Aluminiumlegierungen z. B. werden daher nach mechanischer Reinigung mit fettlösenden Flüssigkeiten, wie Benzin, Benzol, Terpentinöl usw., behandelt. Neuerdings sucht man die teureren, dazu feuergefährlichen Lösungsmittel durch frisch bereiteten Kalkbrei oder durch eine kochende 5proz. Lösung aus Natronlauge, Soda und Borax zu ersetzen, der man zur Erhöhung der Lösefähigkeit (Entfernung alter Anstriche) etwa 5 Proz. Seife zusetzt, dabei soll eine Zugabe von nur 0,05 Proz. Wasserglas die Korrosion verhindern,

ohne die reinigende Wirkung zu beeinträchtigen. Die merkwürdige Schutzwirkung des Wasserglases wird dadurch erklärt, daß die anfängliche Lösung durch die Bildung einer dünnen kolloidalen Schicht von Aluminiumsilikat sehr bald zum Stillstand kommt.

Ein besonderes Reinigungsverfahren hat sich Vogelsanger, D. R.-P. 272043, 1913, schützen lassen. Er beizt die Aluminiumoberfläche nicht, wie schon früher bekannt, mit heißer, kochsalzgesättigter Natronlauge, sondern setzt den zu reinigenden Aluminiumgegenstand in einer kochenden Lösung von Alaun, Borax und Natronlauge 20 bis 30 Sekunden der Wirkung des elektrischen Stromes aus. So vorbehandeltes Aluminium eignet sich vorzüglich für Buch- und Öldruck, für Photo- und Lithographie. Man kann mit Bleistift und Tinte darauf schreiben. Aufgetragene Farben (Lack, Ölfarben, Emaille) halten außerordentlich gut, sie springen beim Biegen nicht ab. Auch zeigt es erhöhte Widerstandsfähigkeit gegen organische Säuren und Witterungseinflüsse.

Bei der elektrolytischen Reinigung von Aluminiumoberflächen wird neuerdings Wasserstoffsuperoxyd zur alkalischen Lösung zugesetzt. Auch Persalze (Perborat, Percarbonat) und Metallsuperoxyde (Natrium- und Bariumsuperoxyd) sollen recht wirksam sein. Ebenso soll die kathodische Reinigung des Aluminiums in Elektrolyten aus Natriumorthophosphat oder -pyrophosphat unter Zusatz von Kaliumcyanid und Glycerin gelingen.

Kupferhaltige Aluminiumlegierungen beizt man weiß durch Behandlung zunächst mit gesättigter Kochsalzlösung in 10proz. Natronlauge und danach mit Salpetersäure, oder man setzt ein Bad aus 20 Tln. Ammoniumfluorid + 30 Tln. Schwefelsäure in 1 Liter Wasser an. Vor dem Beizen entfettet man den Gegenstand mit Kalkbrei.

Nach einem anderen Verfahren tritt die dem Aluminium eigene, schöne weiße Farbe auch bei Legierungen dann hervor, wenn man den Gegenstand zunächst einige Stunden in eine starke Lösung von Ätznatron bringt und danach in eine Mischung von 1 Tl. konzentrierter Schwefelsäure mit 2 Tln. konzentrierter Salpetersäure bringt. Nachdem der Gegenstand sorgfältig gewaschen worden ist, wird er in heißen harzfreien Sägespänen getrocknet.

Ein sehr schöner, matter Glanz ergibt sich auch durch zwei- bis dreitägiges Einlegen des betreffenden Gegenstandes in konzentrierte Schwefelsäure und darauf folgendes Abbürsten des abgeschiedenen Schwefels.

Die gereinigte und weiß gebeizte Aluminiumoberfläche kann aus ästhetischen Gründen mattiert oder poliert werden.

Das Mattieren erfolgt durch Sandstrahlgebläse (Quarzmehl, auch Bimsstein- und Glasmehl). Es verleiht der Oberfläche des Gegenstandes einen weichen seidigen Schimmer. Auch ein chemisches

Verfahren wird neuerdings empfohlen (Elektrochem. 1915, S. 22 bis 28): Mit Kochsalz kalt gesättigte 10proz. Natronlauge als Beize. Der Aluminiumgegenstand wird 20 Sekunden getaucht, mit harter Borstenbürste gebürstet, nochmals 30 Sekunden getaucht, bis starke Gasentwicklung eintritt, kalt und heiß gespült und in Sägemehl getrocknet.

Aluminium läßt sich auch ohne Schwierigkeit auf Hochglanz polieren. Voraussetzung für ein gutes Gelingen ist allerdings eine möglichst feinkörnige Struktur der Metalloberfläche, die unter Umständen durch Pressen, Drücken, Hämmern usw. besonders hergestellt werden muß. Unebenheiten müssen vor dem Polieren durch Schleifen entfernt werden. Beim Polieren selbst muß man eine Vor- und Feinbearbeitung unterscheiden.

Um die Oberfläche oxydfrei zu machen, werden die Gegenstände zunächst in kochende konzentrierte Oxalsäure oder in eine Lösung von 35 g pulverisiertem Borax in 1 Liter heißen Wassers getaucht, dem einige Tropfen Ammoniak zugesetzt sind, oder einige Sekunden in 10proz. Kalilauge gedrückt, dann gründlich mit Wasser gewaschen und in reinen, harzfreien Sägespänen getrocknet. Hierauf werden sie mit weichen Lappen, Lappenscheiben oder Zirkularbürsten aus Messing oder Britanniametall bearbeitet. Als Schmiermittel verwendet man möglichst säure- und alkalifreie Stoffe wie Vaseline, allein oder gemischt mit nicht trocknenden Ölen, neutralem Wollfett, weichem Wachs, Paraffin und Ceresin (schwarze Varietäten scheiden jedoch aus). Zum Vorpolieren setzt man weniger weiche und feinkörnige Magerungsmittel wie *ossa sepia*, Walktonerde, Tripel, Bimsstein- oder Asbestmehl, Neuburger Kreide, Schmirgel, Polierrot usw. zu. Zum Polieren auf Hochglanz verwendet man feiner ausgemahlene und weichere Sorten von Magerungsmitteln, z. B. Talk, Polierrot, gebrannte Magnesia, Dolomit, Wiener Kalk, Kreide. Wichtig ist, daß in den Gemischen aus Magerungs- und Schmiermitteln keine chemischen Umsetzungen eintreten, die die feinkörnige, pastöse Beschaffenheit der Poliermasse beseitigen. Sie würden die „Spiegelung“ der polierten Oberfläche zerstören. Aufgetragen wird die Poliermasse auf Leder- oder Tuchlappenscheiben. Gegen Ende des Arbeitsganges läßt man mehr und mehr die Magerungsmittel zurücktreten. Ein unsichtbar feiner Fetthauch vermag den Hochglanz lange Zeit unverändert zu erhalten.

Zuverlässiger erhält sich der Hochglanz unter einer Schutzdecke von durchsichtigem Lack, der allerdings erst nach sorgfältiger Entfettung unter Beseitigung der leicht entstehenden Oxydschicht aufgetragen werden darf. Zaponlacke eignen sich hierzu nur in den besten Qualitäten, da sie, auch nach geeigneter Vorbehandlung des Aluminiums, leicht abblättern. Besser verhalten sich elastische

helle Öllacke. Besonders geeignet zur Erzielung von Glanzwirkungen sind die farblosen elastischen Spirituslacke. Bezüglich des Zaponlackes kommt es, wie Versuche gezeigt haben, vor allem auf die Vorbehandlung an. Glatte, oder mit Sodalösung behandelte Bleche halten die Zaponschicht schlecht. Besser wirkt ein Spülen mit 5proz. Salpetersäure. Am besten haftet die Lackschicht, wenn die Bleche mit Sandstrahlgebläse aufgeraut, mit Alkohol gespült, warm getrocknet und anschließend zaponiert wurden.

Eine andere Aufgabe der Oberflächenveredlung ist das Färben. Aluminiumgegenstände in ihrem Aussehen durch Auftragen von Farben zu verschönern, hat man in zahlreichen Versuchen erprobt, ohne jedoch zu Verfahren gelangt zu sein, die etwa der Erzeugung einer Edelpatina bei Bronze und Kupfer ästhetisch gleich zu achten wären. Es fehlt an schön gefärbten, unlöslichen Aluminiumverbindungen. Die wenigen farbigen Verbindungen des Aluminiums, wie Jodid, Chlorid, Rhodanid, Bichromat, Sulfid, Tannat usw. sind löslich. Sie kommen für Farbmethode nicht in Frage.

Färben kann man Aluminium nur durch Auftragen farbiger Verbindungen anderer Metalle und Metalloide.

Braune und schwarze Farbtöne erzielt man z. B. durch Einbrennen von Eiweiß, Fett, Öl, Harz und anderen kohlenstoffreichen Verbindungen unter Zugabe von Mangansalzen. Graue bis schwarze Überzüge erhält man durch Beizen mit Schwefelsäure unter Zugabe von Antimonchlorür, Molybdänitrat und Graphit. Für die Aluminiumkochgeschirre des deutschen Heeres lautete die Vorschrift: 80 g Schwefelsäure, 100 g Antimonchlorür, 200 g Salzsäure, 50 g Manganooxyd in 1 Liter reinem Spiritus. Der gewaschene und getrocknete Überzug wird noch mit Spirituslack gedeckt, der nach Buchner folgende Zusammensetzung haben kann: 50 g Sandarak, 100 g Schellack, 100 g Nigrosin in Alkohol gelöst.

Die AEG empfiehlt, D. R.-P. 230982, 1908, zum Braun-, Stahlgrau- und Schwarzfärben die Verwendung von Kobaltsalzen. Wird die Oberfläche durch schwaches Ausglühen oder durch Säuren oxydiert, so tritt bei Gegenwart der Kobaltsalze schon bei schwachem Glühen Braunfärbung ein, die durch Wiederholung des Verfahrens bis zum Schwarz nüanciert werden kann.

Ein eigenartiges Verfahren der Aluminiumfärbung wurde Dr. Lang, Karlsruhe, in seinem auch im Auslande mehrfach geschützten Verfahren zum Oxydieren und Färben oder Emaillieren von Aluminiumgegenständen nach Behandlung mit Quecksilberverbindungen im D. R.-P. 163545, 1904, und den Zusatzpatenten 182421 und 188910, 1906, sichergestellt. Das Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, daß nach Entfernung der Amalgamschicht die Oberfläche des Aluminiums stark oxydiert ist und diese durch leicht

reduzierbare, einen farbigen Niederschlag erzeugende Verbindungen, z. B. Chromverbindungen, gefärbt und durch Glühen fixiert oder mit Emailleüberzug versehen wird. Nach den Zusatzpatenten kann die Oxydschicht auch durch Säuren oder Alkalien erzeugt werden. Ihr werden dann solche Substanzen zugeführt, die mit ihr farbige Verbindungen (Farblacke) bilden. Geeignet dazu sind z. B. die Anilin- und Alizarinfarben.

Die natürliche Oxydschicht des Aluminiums gestattet auch die Anwendung leicht schmelzender Glasflüsse und Schmelzfarben. Sie haften so gut wie auf Porzellan. Schumacher, Köln, macht sich diese Tatsache in seinem D. R.-P. 276815, 1912, zunutze, indem er Aluminiumgegenstände durch keramische Farben verschönt, die er auf eine zuvor eingebrannte Glasur unter Erwärmung auf 400 bis 550°C aufträgt. Nach einem D. R.-P. 280940, 1913, von Schöniger & Fischer, Tetschen (Böhmen), kann man sogar den Glasfluß entbehren. Man kann die Schmelzfarben unmittelbar aufmalen, wenn man sogenannte Lüsterfarben (Lösungen von Metallresinaten in Öl), Glanzgold, Glasfarben oder Emaille, wie sie bei Glas, Porzellan, Steingut, Emaille usw. verwendet werden, benutzt. Bei 400 bis 550°C eingebrannt, halten sie vorzüglich.

Auch das Verfahren von Kalman Warga, New York, gehört hierher. Nach seinem D. R.-P. 362182, 1921, lassen sich vielfarbige Verzierungen auf Aluminiumoberflächen durch Auftragen von Mineralfarben herstellen, die mit glasartigen Bindemitteln versetzt sind. Die Farbschichten lassen sich ohne ineinanderzuzießen übereinanderlegen, wenn die Schmelzpunkte der verwendeten Bindemittel genügend weit auseinander liegen, und zwar muß der Schmelzpunkt der untersten Schicht am niedrigsten sein. Um die Farben auch durch Aufdrucken maschinell auftragen zu können, mischt Warga klebrige Stoffe bei, die bei der Schmelztemperatur der Farben bereits verflüchtigt sind. Nach dem weiteren Patent 368124, 1919, ist ein Schmelzfluß aus einem Gemisch von Kieselsäure, Borax, Mennige und gegebenenfalls Antimonoxyd besonders geeignet, während als Klebmittel Lacke, Gummiarabikum usw. empfohlen werden. Die Farben müssen eine Temperatur von 500 bis 700°C aushalten können.

Seit man gelernt hat, Aluminium solid zu vernickeln und zu verkupfern, kann man indirekt jedes beliebige Metall auf ihm niederschlagen und so alle möglichen Metallfärbungen erzeugen, die auf diesen ausführbar sind. Die meisten Färbverfahren, die Messing, Zink, Eisen, Silber, Blei usw. als Grundmetall haben, lassen sich bei Plattierung des Aluminiums mit diesen Metallen ausführen. Wir kommen darauf an späterer Stelle nochmals zurück.

Wichtiger als das Verbessern der Aluminiumoberfläche im ästhetischen Sinne ist die vielfach damit zusammenhängende Veredlung chemischer Art. Aluminium widerstandsfähig gegen chemische Angriffe zu machen, ist durch Erzeugung von Schutzschichten vielfach versucht worden. So empfiehlt Gardner (Mechanical Engineering) Emaillack, dem 25 Proz. Aluminiumpulver zugesetzt ist, als geeigneten Schutzanstrich für Motorgehäuse aus Aluminiumlegierungen. Die Beimischung basischer Farben, die ja mit Aluminium reagieren können, darf jedoch nur bei Verwendung von Ölanstrichen erfolgen.

Vogel und Bauer (Phys.-Techn. Reichsanstalt) erzeugen zum Schutz gegen Korrosion auf der Oberfläche von Aluminiumlegierungen eine Schicht aus Aluminiumoxyd—Chromoxyd, indem sie 20 g Kaliumcarbonat, 25 g Natriumhydrocarbonat und 10 g Kaliumbichromat in 1 Liter Wasser lösen und darin den Gegenstand bei 90°C zwei bis vier Stunden erwärmen. Oswald Pieschel, Dresden, will Reinaluminium zufolge (D. R.-P. 325943, 1917) dadurch veredeln, daß er durch Behandlung mit starkem Ammoniak und nachheriges Ausglühen eine verhältnismäßig dicke und dichte Oxydschicht erzeugt, die es gegen Schwefelsäure unempfindlich macht. So bearbeitetes Aluminium soll beim Akkumulatorenbau verwendet werden können.

Nach D. R.-P. 311677, 1920, von H. M. Hall, Eigentum der Spezialfabrik für Aluminiumspulen, Berlin, wird ein chemisch gut schützender und zugleich elektrisch isolierender Überzug aus Aluminiumsilikat dadurch erhalten, daß man Aluminiumdraht unter Durchleiten eines Wechselstromes von 25 bis 50 Atm. zuerst in eine Lösung von Natriumsilikat und darauf in ein Emaillbad taucht.

Das D. R.-P. 318141, 1918, der Metallhütte Baer & Co. macht die Aluminiumoberfläche dadurch chemisch widerstandsfähiger, daß sie diese mattiert, mit Calciumcarbonat (Kreide, Muschelkalk, Eierschalen) einpudert, auf 550°C erhitzt, den Überzug durch Walzen und Pressen eindrückt und schließlich mit schwachen organischen Säuren (Weinstein, Milchsäure) beizt.

Einen für manche Zwecke geeigneten Schutzüberzug kann man auch durch starke Oxydbildung mit Hilfe des elektrischen Stromes erhalten.

Man hängt den in Frage kommenden Aluminiumgegenstand als Anode in einen geeigneten Elektrolyten, z. B. gesättigte Boraxlösung unter Verwendung eines beliebigen Metalls, auch Aluminium, als Kathode. Bei 500 Volt Spannung schaltet man so viel Widerstand vor die Zelle, daß in dieser ein Strom von $\frac{1}{2}$ Atm. fließt. Der Verbrauch der Zelle beträgt 4 bis 5 Volt. Unmittelbar nach Einschalten wächst jedoch die Spannung. Sauerstoffbläschen steigen

auf. Der Vorschaltwiderstand muß dauernd vermindert werden. Nach 15 Minuten beträgt die Spannung 150 Volt. Die Aluminiumoberfläche zeigt bläuliche Anlauffarbe. Bei 480 Volt hört das Steigen des Widerstandes auf. Die Oxydschicht sieht weißlichgrau aus, ihre Dicke beträgt etwa $1\ \mu$. Örtliche Funkenbildung verhindert eine weitere Verstärkung. Je größer die Stromdichte und je höher die Temperatur, um so größer die Schichtdicke bei gegebener Formierungsspannung. Verwendbar ist auch Wechselstrom. Chloride dürfen auch nicht in Spuren im Elektrolyten vorhanden sein. Die Oxydschicht bildet einen geeigneten Schutz gegen Alkalien. Da sie aber bei gewöhnlichem Handelsaluminium wegen der im Metall lagernden Fremdstoffe nie völlig lückenlos werden kann, gibt man dem so vorbehandelten Aluminium zur Verstärkung noch einen Schutzanstrich aus Lack oder Ölfarbe, der auf dem gut ausgewaschenen und getrockneten Oxyd besonders fest haftet.

Ein neuer Versuch, Aluminiumlegierungen, insbesondere die neuerdings in die Technik eingeführten Skleronmetalle mit einer wirksamen Schutzhaut zu überziehen, ist das Verfahren der „Chromatisierung“, das von der Metallbank und Metallurg. Ges. Frankfurt a. M. als Patent angemeldet worden ist.

Die große Affinität des Aluminiums zum Sauerstoff, die in den angeführten Verfahren geradezu zur Erzeugung von Schutzüberzügen verwendet wurde, macht es umgekehrt sehr schwer, fest haftende Metallüberzüge zu erzeugen. Anwendbar auf Aluminium ist das Schoopsche Verfahren der Spritzmetallveredlung. Der dünne Überzug haftet auch auf oxydierter Oberfläche. Erstrebt man jedoch ein inniges Legieren des Schutzmetalls mit dem Aluminium, so muß man, ähnlich wie beim Lötprozeß, für eine völlig blanke Oberfläche sorgen und kann auch nur einige wenige Metalle, die chemisch edler sind, einen niedrigeren Schmelzpunkt als Aluminium besitzen und sich mit diesem legieren, verwenden. So übt man vielfach das Verzinnen des Aluminiums aus. Passalacqua, Paris, gibt hierzu eine geeignete Dekapierungspaste, D. R.-P. 378651, 1922, an. Sie enthält je 18 Tle. Stearinsäure, Paraffin, Harz, Leinöl, Olivenöl und je 10 Tle. Schweinefett und anderes Fett. Die Paste wird unter Erwärmen aufgetragen und mit einer Metallbürste eingerieben, so daß die feinen Oxydhäute zerstört werden. Dann wird bei Gegenwart der Paste ein wenig flüssiges Zinn auf die blanke Aluminiumfläche eingerieben. Zuletzt wird die Paste entfernt. Die Aluminiumoberfläche ist für weitere Verzinnung vorbereitet. Zu der flüssigen Paste kommen noch Zusätze von Lösungen, und zwar zunächst eine zinnreiche Lösung aus 100 ccm Wasser, 60 g Zinnchlorür, 67 g Aluminiumsulfat, 82 g Aluminiumchlorid, 60 g Natriumpyrophosphat, 85 g Ammoniak, 90 ccm 10proz. kaustische

Soda, 55 g Zinnsulfat, 70 g Salpetersäure, 55 g Zinnchlorid. Später tritt noch eine Lösung hinzu, die in 100 ccm Wasser 80 g Zitronensäure, 90 g Salmiak und 75 g Nickelsulfat enthält, und schließlich eine Lösung von 80 g Zinnchlorid und 90 g Natriumpyrophosphat in 100 ccm Wasser. Es liegt nahe, daß Verzinnungsverfahren auch für Lötzwecke zu benutzen. In D. R.-P. 345 185, 1920, hat es sich der Erfinder schützen lassen.

Nach einem älteren Verfahren von Dr. Göttung läßt sich verzinnen, wenn man den Aluminiumgegenstand in Ammoniumzinnchlorür taucht und mit einer Messingbürste bearbeitet. Die Kombination stellt eine galvanische Kette dar, in der Aluminium Kathode ist.

Analog erhält man eine Verkupferung, wenn man Aluminium in einer Kupfersulfatlösung mit Zinnpulver verreibt. Eine Verkupferung durch bloßes Tauchen soll nach einer Angabe aus dem Jahre 1894 aus alkoholischer Kupferchlorürlösung gelingen. Vittorio Carbone, Genua, D. R.-P. 275 231, 1912, verwendet Kupfersalze, z. B. Kupferchlorür in ammoniakalischer Lösung, dem etwa 7 Proz. Alkalitartrat und Ferroalkalitartrat zugesetzt sind. Der auf blankem Aluminium abgesetzte Niederschlag soll sehr gut haften, wenn er nachträglich noch bei höherer Temperatur getrocknet wird. Ein Nachteil dieser Methode ist die zeitraubende und selten völlig gelingende Reinigung der Oberfläche.

Das Verfahren der Niedersachsenwerke Lamspringe, D. R.-P. 392 598, 1922, sucht durch eine besondere Badlösung den Desoxydations- und Metallisierungsprozeß in einem Akt durchzuführen. Bei kurzem Ansieden erhalten sie auf dem getauchten Aluminiumgegenstand einen dünnen Messing-(Cu-Zn-)Niederschlag, der sich bei längerer Dauer zum reinen Kupferüberzug umbildet. Die Badlösung besteht aus 10 Liter Wasser, 200 g Kaliumkupfercyanid, 100 g Natriumzinkcyanid, 100 g weinsaurem Natrium, 100 g kohlsaurem Natrium, 250 g Schwefelsäure, 50 g Ammoniumchlorid und 110 g Ätznatron.

Als eine Fortentwicklung des weiter oben angeführten Verfahrens der Verkupferung mit Hilfe von Halogenverbindungen (Pat. 125 674, 1901) ist das Verfahren des Erftwerkes Aluminium A.-G. (D. R.-P. 394 816, 1923) anzusehen. Nach den Ausführungen der Patentschrift mißlingt das Verkupfern nach dem älteren Verfahren zuweilen, und zwar deshalb, weil bei der Siedetemperatur durch die Gegenwart von Wasser neben der Verkupferung eine erneute Oxydbildung hergeht, die den Erfolg der Verkupferung in Frage stellt. Das neue Verfahren verwendet kristallwasserfreie Salze, Ammoniumchlorid und Kupferoxyd. Auf die Aluminiumoberfläche aufgestreut und auf 400 bis 500°C erhitzt, führen sie zur Entstehung eines fest haftenden Kupferniederschlags, der eine ausgezeichnete Grundlage

für die galvanische Weiterbehandlung und für Lötungen bildet. Man kann in ähnlicher Weise auch Zinkoxyd mit Ammoniumchlorid reagieren lassen oder Bor- bzw. Jodverbindungen benutzen. Man kann auch Kupferoxyd und Zinkoxyd zugleich anwenden und dadurch messingartige Legierungsüberzüge bekommen.

Die Kupferniederschläge auf chemischem Wege sind sehr dünn. Der Prozeß kommt naturgemäß zum Stillstand, wenn sich Badflüssigkeit und Grundmetall nicht mehr berühren. Stärkere Deckschichten könnte man nun erwarten, wenn die Niederschlagsarbeit durch den elektrischen Strom gefördert würde. Dies ist auch der Fall, doch ist das Aluminium in der Galvanotechnik eines der schwierigsten zu bearbeitenden Metalle. Seine große Affinität zum Sauerstoff und sein starker elektrolytischer Lösungsdruck verhindern vielfach schon die Entstehung eines gut haftenden Niederschlages, oder sie bedingen seine rasche Zerstörung durch Blasenbildung. Elektrolytische Verkupferungen von Reinaluminium (Aluminiumlegierungen verhalten sich galvanotechnisch noch viel ungünstiger) sind vielfach versucht worden. Ein vollkommen zuverlässiges Verfahren besitzt man jedoch noch nicht. Auch das von der Aluminium A.-G. Neuhausen empfohlene Bad: 11 ccm Wasser, 80 g Salpetersäure, 36° Bé, 100 g Kupfervitriol, kristallisiert, angewendet bei 1 Amp./qdm, 5 cm Elektrodenentfernung, 4 Volt Badspannung, hat den Erwartungen nicht voll entsprochen.

Ebensowenig hat sich bis jetzt die elektrolytische Verzinkung des Aluminiums bewährt, ganz abgesehen von den Schwierigkeiten, die eine Zinkunterlage einer weiteren galvanischen Veredlung bietet.

Am besten ist bisher die direkte Vernickelung des Aluminiums gelungen. Ein verhältnismäßig gut arbeitendes, in die Technik eingeführtes Verfahren stammt von Wogrinz. Es wird von den Langbein-Pfannhauser Werken, Leipzig-Sellerhausen, als Nickelbad „Wal“ in den Handel gebracht. Das Bad arbeitet bei 18 bis 20°C mit Stromdichten von etwa 0,5 Amp./qdm und 2 bis 3 Volt Badspannung. Wie jedes andere Metall wird das Aluminium, bevor es in das Bad gebracht wird, entfettet und mit Wasser gespült. Schon eine ½- bis 1stündige Vernickelungsdauer gibt einen wunderbar weißen, leicht Glanz annehmenden Niederschlag. Soll das Metall noch weiter verkupfert oder vermessingt werden, so ist ein besonders starker Nickelniederschlag nötig, wozu cyankalische oder Tartratbäder verwendet werden können. Nur so ist der Niederschlag genügend porenfrei und ein Angriff der cyankalischen oder tartrathaltigen Badflüssigkeit auf das Grundmetall mit Sicherheit auszuschließen.

Brauchbare Nickelniederschläge soll auch das Verfahren des bekannten französischen Aluminiumforschers Guillet liefern. Er

reinigt den zu vernickelnden Gegenstand zunächst gründlich und entfernt die Oxydhaut mit Metallbürste, rauht die Oberfläche mittels Sandstrahlgebläses unter Verwendung von sehr feinem, reinem Sand (0,2 Maschenweite im Sieb) auf und spült mit Wasser nach. Dann schlägt er eine Nickelschicht von 0,006 mm Dicke direkt nieder, die sehr gut haftet, während eine solche nur von 0,4 mm Dicke sehr leicht abspringt. Da jedoch die hauchdünne Schicht keinen Schutz z. B. gegen Alkalien bietet, so erzeugt er darauf eine 0,02 mm dicke Kupferschicht und legt schließlich noch eine 0,5 mm dicke Nickelschicht darüber, nachdem zuvor die Kupferschicht poliert wurde. Als Nickelbad gebraucht er 150 g Nickelsulfat und 50 g Ammoniumnickelsulfat in 1 Liter Wasser, als Kupferbad 150 g Kupfersulfat und 200 g Schwefelsäure in 1 Liter Wasser. Die Erstvernickelung führt er bei 0,8 Amp./qcm in einer halben Stunde aus, die Nachvernickelung bei 0,5 Amp./qcm in einer Stunde, während die Zwischenverkupferung bei 1 Amp./qcm zwei Stunden erfordert. Die Vernickelung soll auch Biegebeanspruchung gut vertragen und eine dauerhafte Zinnlötung ermöglichen.

Nach anderen französischen Angaben ist es empfehlenswert, vor der Vernickelung eine dünne Eisenschicht elektrolytisch aufzutragen. Zu diesem Zwecke behandelt Marie Canac, geb. Quentin, in Bourg la Reine (D. R.-P. 276257, 1912) den zu vernickelnden Aluminiumgegenstand zuvor mit einer Badflüssigkeit aus $\frac{1}{2}$ Liter konzentrierter Salzsäure, $\frac{1}{2}$ Liter Wasser, 2 pro Mille Kaliumcyanid und 1 g Eisenspänen oder einer entsprechenden Menge Eisenchlorid. Ganz ähnlich führt Tassily die Vernickelung von Reinaluminium durch. Er beizt mit Kalilauge und Kaliumcyanid, entfettet mit frisch bereitetem Kalkbrei und spült gründlich mit Wasser nach. Die flecken- und streifenfreie, mattweiße Oberfläche behandelt er kurze Zeit in einer saueren Eisenlösung. Die Vernickelung selbst vollzieht sich in einem Bade aus 50 g Nickelchlorür und 20 g Borsäure bei 2,5 Volt Spannung und 1 Amp./qdm. Noch besser als Eisen soll sich nach neueren Angaben Mangan bewähren. Danach werden (La Technique Moderne 13) 2 g Mangan in 350 ccm Salzsäure von 22° Bé gelöst. Die Lösung wird mit 650 ccm Wasser verdünnt und der zu vernickelnde Gegenstand zwei bis drei Minuten in sie eingetaucht, dann gründlich gespült und sofort vernickelt. Das Bad ist eine streng neutrale Lösung aus Nickelsulfat von 12 bis 13° Bé. Die Anode ist gewalztes Nickelblech. Galvanisiert wird mit 1 bis $1\frac{1}{2}$ Amp./qdm Stromdichte bei 2,5 Volt Badspannung. Der Niederschlag wird mit Wasser gewaschen und mit Druckluft getrocknet. Er soll äußerst fest halten und blendend weiß aussehen.

Eine Anzahl gut aussehender Vernickelungen stellte die Firma A. Butziger A.-G. für Aluminiumveredlung, Zwenkau bei Leipzig,

zur Leipziger Herbstmesse 1924 aus. Sie behauptet, nach eigenem Verfahren nicht bloß Aluminium und Aludur, sondern auch Edelmetalllegierungen, wie Silumin, Skleron, Duralumin und die verschiedensten anderen handelsüblichen Aluminiumlegierungen in Spritz- und Kokillenguß haltbar vernickeln, verkupfern, vermessen, verzinnen, versilbern, vergolden, sowie auf Altsilber, Altkupfer, Altmessing, Altsilberimitation und Schwarz einfärben zu können. Witterungseinflüsse, Luftsauerstoff, Handschweiß, sowie Druck und Schlag sollen den nach einem angeblich neuen, geheimgehaltenen Verfahren hergestellten Niederschlägen nichts anhaben. Wenn nun auch ein Beweis dieser Behauptungen erst durch längere Erprobung erbracht werden kann, so sei doch schon jetzt betont, daß die Fabrikate der jungen Firma sowohl auf der Aluminiumausstellung in München (1924) und auf der Automobilausstellung in Berlin (1924) die Aufmerksamkeit der Fachwelt auf sich gezogen, als auch nach dem auf Grund eines Prüfverfahrens gewonnenen Urteil der Aluminiumberatungsstelle Berlin „ausgezeichnet“ sind; hatten doch von der Firma vernickelte Aluminiumgegenstände zu Probezwecken ein volles Jahr auf dem Dache eines metallographischen Instituts Berlin gelegen und waren dort allen Einflüssen der Witterung, der Rauchgase usw. ausgesetzt gewesen, ohne merkliche Korrosionserscheinungen gezeigt zu haben.

Nach diesen Feststellungen ist es nicht verwunderlich, daß die galvanische Vernicklung in der Aluminiumindustrie immer mehr festen Fuß faßt. Fabrikationsteile, die bisher aus Rotguß, Messing, Kupfer, Bronze usw. hergestellt worden sind, können jetzt aus Aluminispritz- und -kokillenguß erzeugt werden.

Die Automobilindustrie ist zum Teil schon dazu übergegangen und erzielt dadurch bedeutende Fabrikationsverbilligung. Die galvanische Aluminiumveredlung findet mit Vorteil Verwendung für beispielsweise folgende Gegenstände: Fernsprechteile, Radioapparate, Automobilarmaturen, Kleinmotorengehäuse, Bureau-maschinenteile, Staubsaugerteile, Geschenkartikel, Rasiermesserhefte, Strick- und Häkelnadeln, Luftschiff- und Flugzeugteile, optische Artikel (Theatergläser, Brillenfutterale, Photoapparateile), Isolierflaschenbecher und -verschraubungen, Haartrockenapparateile, Tür- und Fenstergriffe, Beschlägebleche für Stanzartikel usw.

Weniger gut scheint sich die Vernicklung für Aluminiumgegenstände zu eignen, die mit Laugen oder, wie Bestecke für Salat usw., viel mit Säuren in Berührung kommen. Die feinsten Haarrisse in der Nickeldeckschicht müssen hier schädlicher wirken, als wenn das Aluminium völlig frei dem Angriff der Säuren bzw. Basen ausgesetzt wäre, weil zwischen Ni und Al ein galvanisches Element entsteht, in welchem das Aluminium Lösungselektrode ist.

Nun scheint man aber in der Aluminiumveredlung über die Verwertung hinaus einen wichtigen Schritt dadurch nach vorwärts getan zu haben, daß es neuerdings unter anderen der Firma Butziger gelungen ist, Aluminium zu verchromen. Chrom als „passives Metall“, als Überzug auf Aluminium aufgebracht, muß einen weit besseren Schutz bieten als Nickel, weil Haarrisse, poröse Stellen usw. in der Chromschicht nicht mehr in so hohem Maße die Bildung elektrolytischer Ströme mit ihren verderblichen Wirkungen für das Grundmetall ermöglicht.

Auch die außerordentliche Härte des Chroms wird die Verwendungsfähigkeit des Aluminiums steigern. So wird ein Überzug aus diesem Metall die Lebensdauer der in Explosionsmotoren benutzten Aluminiumkolben ganz außerordentlich zu steigern vermögen, da gerade die relative Weichheit des Aluminiums den Verschleiß desselben bisher unerwünscht hochhielt.

Die Schwierigkeiten der Verbrennung, die mangelhafte Tiefenwirkung des galvanischen Prozesses bei stark geformter Oberfläche, die bisher nur durch hohe Stromdichten mit ihren nachteiligen Folgen überwunden werden konnten, scheinen durch geeignete Wahl des Elektrolyten beseitigt zu sein. Wenigstens sehen die von der oben genannten Firma vorgelegten verchromten Gegenstände, auch die aus Aluminium, ganz vorzüglich aus. Wieweit freilich „verchromtes Aluminium“ den in es gesetzten hohen Erwartungen entsprechen wird, kann erst die Zukunft lehren.

Auf galvanischem Wege werden auch häufig Schwarzfärbungen auf Aluminium vorgenommen. So bringen die Langbein-Pfannhauser Werke A.-G., Leipzig-Sellerhausen, ein „Nigrosinbad“ in den Handel, das ein aus mehreren Metallsalzen bestehender Elektrolyt von schwach schwefelsaurer Reaktion ist und wie das gewöhnliche Nickelbad der genannten Firma angesetzt wird. Man arbeitet mit einer Kohlenanode, deren Fläche $\frac{1}{2}$ mal so groß ist wie die Warenfläche bei etwa 2 Volt und etwa 0,25 Amp./qdm Stromdichte. Ein ähnliches Schwarzfärbbad hat die Spezialfabrik für Galvanotechnik, Heidenau bei Dresden, zum Patent angemeldet, das bei 2,5 Volt und 0,5 bis 0,6 Amp./qdm bei Zimmertemperatur in $\frac{1}{2}$ bis $1\frac{1}{2}$ Stunden einen tiefschwarzen, polierfähigen Niederschlag ergibt.

Eine galvanische Schutzschicht gegen Seewasser soll sich nach einem Verfahren des Freiherrn von Grotthuss, D. R.-P. 324619, 1918, auf Aluminium auftragen lassen. Es ist von den Hirsch Kupfer-Messingwerken A.-G. in die Technik eingeführt worden. Das Brünieren des Aluminiums erfolgt durch eine Badlösung von Ammoniummolybdat, der während der Elektrolyse Schwefelwasserstoff bis zur Tiefschwarzfärbung zugeführt wird. Infolge dieses Zusatzes wird die sonst mehrere Stunden dauernde Molybdänabscheidung

in wenigen Minuten ermöglicht. Die Badlösung besteht z. B. aus 20 g molybdänsaurem Ammon in 2 Liter Wasser, 20 bis 25 ccm konzentriertem Ammoniak und Schwefelwasserstoff bis zur Tiefdunkelrotfärbung $[(\text{NH}_4)_2\text{MoS}_4]$. Das Bad arbeitet bei 60°C mit 3 bis 4 Volt Badspannung und 1 Amp./qdm Stromdichte. Die Anode ist Zinkblech. Der Niederschlag besteht aus Molybdänoxid und -sulfid. Der Niederschlag verträgt mechanische Bearbeitung, z. B. Walzen. Er ist tiefdunkelbraun bis schwarz und wird beim Walzen stahlblau bis schwarzblau.

Fünfter Teil.

Die Verwendung des Aluminiums und seiner Legierungen.

Der größte Teil der Hüttenerzeugung wandert in die Walzwerke. 120000 t wurden von diesen im Jahre 1923 zu Aluminiumblech verarbeitet. Ein anderer erheblicher Teil der Weiterzeugung wird zu Draht ausgezogen und ein dritter Hauptteil wandert in die Eisen- und sonstigen Metallwerke zu metallurgischen Zwecken. Nur ein kleiner Teil dient zur Herstellung von Edellegerungen wie Silumin und Duralumin. Der große Bedarf der Gußtechnik wird fast ausschließlich vom Altmaterial befriedigt. Der jährliche Umsatz an Aluminium in der Weltwirtschaft muß also weit größer sein als die jährliche Hüttenproduktion.

Herstellung von Gebrauchsgegenständen, allgemeiner Gerätebau.

Mannigfaltig wie die Eigenschaften des Aluminiums sind auch seine Verwendungsmöglichkeiten. Es gibt wohl kaum einen Zweig des vielgestaltigen gewerblichen Lebens, dem dieses merkwürdige Metall nicht in irgend einer Weise dienstbar ist. Bei der Herstellung von Gebrauchsgegenständen des täglichen Bedarfs wie im allgemeinen Gerätebau wird es in noch immer steigendem Maße benutzt.

Besonders seine Leichtigkeit, verbunden mit ausreichender Festigkeit machen es für unzählige Zwecke geeignet. Wir nennen im Haushalte: Herdteile, Eisschrank- und Eismaschinenteile, Kochtöpfe, Dampfhauben, Kessel, Bratpfannen, Becher, Untersetzer, Teesiebe, Trichter, Schöpflöffel, Bestecke, Kindergeschirr, Waschmaschinenteile, Waschkessel, Müll- und Kohleneimer; im Bäckereigewerbe: Kuchenformen und -bleche, Tortenheber und Zuckersiebe; in der Fleischerei: Fleischwölfe, -haken, Fettverteiler, Wannen und Töpfe für Fett und Fleisch, ja nach einem Patent von Tumler & Co., Dresden, sogar zylindrische Gefäße mit Schnappverschlüssen als „Dauerwursthülle“; im Gastwirtschaftsbetrieb: Spül-

tische, Bieruntersetzer, Aschenbecher, Getränkewärmer, Tischventilatoren, Lagergefäße für Bier, Bierheber, Lochbleche für den Schanktisch. Aluminium benutzt man wegen seiner Leichtigkeit auch zu Schuhabsätzen und an Stelle des Oberleders für Holzschuhe der Arbeiter in Salpetersäurefabriken, Färbereien und Gerbereien. Aus Aluminium stellt man her: Haartrockner, Staubsauger, Gasmesser, Wasseruhren, Elektrizitätszähler, Maßstäbe, Richtmaße, Wagebalken, Zeiger, Zifferblätter, Teile von photographischen und kinematographischen Apparaten, Stative, Objektivfassungen für Fernrohre, Feldstecher, Operngläser, Lichtbildwerfer, Reflektoren, Teile von künstlichen Gliedern, Verbandschienen, Pulsometer, Respiratoren. Im Instrumentenbau verwendet man Aluminium zu Klavierrahmen, Trommeln, Schalltrichtern, im Feuerwehr- und Rettungswesen für Feuerspritzen, Feuereimer, Wagenteile, Leitern (in Falztechnik), Löscheimer, Schlauchgarnituren, Tragbahnen, Sanitätskasten, Atmungsgeräte, Schutzbleche, Helme, Fassungen für Schutzbrillen, für Laboratoriumsgerät, Stative, Trockenschränke, Schauferstergestelle; Aluminiumgegenstände für die Reise, für Jagd und Sport, als Turngeräte, Lebensmittelbehälter, Feldkessel, -flaschen, -betten, Schutzkappen, Schlittschuhe, Rollschuhe usw., erfreuen sich steigender Beliebtheit. Sogar ein Panzer für Taucher wird neuerdings von der Kieler Firma Neufeld & Kuhnke aus einer besonders zähen und seewasserbeständigen Aluminiumlegierung hergestellt, ein eigenartig konstruiertes, höchst wertvolles Gerät, mit dem schon Arbeiten in mehr als 160 m Meerestiefe ausgeführt worden sind und der Tiefenrekord im Tauchen aufgestellt werden konnte. Für Spiel- und Unterrichtszwecke erklärt sich seine Eignung aus seiner sehr leichten Bearbeitbarkeit durch Gießen, Stanzen, Falzen, Prägen und Biegen. Im Münzwesen fordern seine Ungiftigkeit auch im Falle der Zersetzung, sein sauberes Aussehen und gutes Prägevermögen geradezu zur Verwendung heraus. Wert- und Kontrollmarken, Abzeichen, Münzen, auch Geldmünzen in Reinaluminium und bestimmten Aluminiumlegierungen sind allgemein bekannt. Erinnerung sei an die deutschen 50-Pfennigstücke der Jahre 1920, 1921, 1922, die 200- und 300-Markstücke des Inflationsjahres 1923 sowie an die goldgelben 5-, 10- und 50-Pfennigstücke aus Aluminiumbronze mit 91,5 Proz. Aluminium und 8,5 Proz. Kupfer, die gegenwärtig in Geltung sind.

Mit Erfolg verwendet man neuerdings eine Aluminium-Kupferlegierung (Aluminiumbronze) zu Kirchenglocken. Sie sind billig, rostsicher und nur ein Drittel so schwer wie solche aus Bronze, dabei von mindestens gleich gutem Klang. Die Glockengießerei Hempel (Westfalen) hat erst kürzlich die Kirche zu Allrath (Rheinland) mit derartigen Erzeugnissen ihrer Gießkunst ausgestattet.

Junker, Brilon i. Westf. behauptet freilich (Rheinisch-westfälische Zeitung vom 27. Juli 1924), daß der Klang der Aluminiumglocken weit hinter dem von Bronzeglocken zurücksteht.

Um seiner Leichtigkeit willen wird es auch für Schreibmaschinenbau, Aktenkörbe, Schreibtischartikel, im Werkzeug- und allgemeinen Maschinenbau, wo die Verminderung schwingender Massen von Bedeutung ist, viel benutzt. Ventilatorflügel, rostsichere Armaturen, Ventile, Hähne, Unterlegscheiben, Nieten, Registriervorrichtungen, Öler, Hupen seien als Beispiele genannt. Von großer Bedeutung ist Aluminium besonders auch da, wo Massenbewegung in Frage kommt. So läßt sich im Bergbau zu Förderkörben und -wagen, bei sonstigen Transportanlagen für Fahrstühle und Hängebahnkörbe, bei Automobil-, Motorrad-, Fahrradbau, im allgemeinen Wagenbau, beim Bau von Eisenbahn- und Straßenbahnwagen Aluminium vielfach mit größtem Vorteil verwenden. Als Beispiele seien genannt Zugschilder, Türen, Fensterrahmen, Verkleidungen, Wagenschilder, Armaturen. Wenn man an unseren schwerfälligen Straßenbahnwagen tatsächlich noch so wenig Leichtbaustoffe und noch gar nicht die Gedanken des Leichtbaues konstruktiv verwirklicht sieht, so beweist dies nur, wie langsam sich auch in der Technik dort das Bessere durchsetzt, wo der unmittelbare Zwang fehlt. Ein nach den oben erwähnten Gesichtspunkten durchkonstruierter Straßenbahnwagen würde die Mehrkosten seiner Anschaffung durch wesentliche Verminderung der Betriebskosten in kurzer Zeit wettmachen. Sogar Räder für Kraftwagen hat man neuerdings aus einer Aluminiumlegierung gegossen. Nach Machinery 30, 9, 710, hat die Londoner Omnibusgesellschaft derartige Wagenteile, die nur das halbe Gewicht normaler Stahlräder bei gleicher Leistungsfähigkeit besitzen, mit dem vorzüglichsten Ergebnis in Betrieb gestellt. Ihre Benutzung bedeutet Kraftersparnis und Schonung der Fahrwege. Ein besonderer wirtschaftlicher Vorteil aber liegt in dem hochwertigen Schrott, das die abgenutzten Aluminiumstücke besitzen.

Aluminium im Flugzeug- und Luftschiffbau.

Daß Aluminium im Flugzeug- und Luftschiffbau als Konstruktionsmaterial eine alle anderen Baustoffe wie z. B. Holz weit in den Schatten stellende Bevorzugung genießt, bedarf nach dem Früheren keiner besonderen Begründung. Allerdings sind es vor allem die erhöhte Festigkeitseigenschaften zeigenden Legierungen des Aluminiums, die hier eine Rolle spielen. Als Konstruktionsmaterial ist vor allem Duralumin dort, wo hohe Festigkeitseigenschaften bei großer Leichtigkeit beansprucht werden, mit anderen Metallen und sonstigen Baustoffen erfolgreich in Wettbewerb getreten.

Aluminium im Schiffsbau.

Duralumin hat auch bis jetzt einzig und allein die Einführung des Aluminiums in die Schiffsbau-technik möglich gemacht. Seine Seewasserbeständigkeit ist zwar nicht vollkommen, da es in Verbindung mit Kupfer und kupferhaltigen Legierungen infolge elektrolytischer Einflüsse angegriffen wird. Doch liegen im Bootsbau bereits gute Ergebnisse vor, die seine Brauchbarkeit für die genannten Zwecke erwiesen haben. Dasselbe gilt natürlich auch für die Schwimmer von Seeflugzeugen. Duralumin zeigt sich seewasserbeständiger als selbst Reinaluminium. Wird es mit Eisen zusammen eingebaut, so wird dieses angegriffen und Duralumin geschützt. Daß Duralumin und auch andere Aluminiumlegierungen nebst Reinmetall für die Inneneinrichtung von Schiffskörpern erst recht brauchbar sind, sei nur beiläufig erwähnt. Recht beachtlich in wirtschaftlicher Hinsicht ist im Maschinen- und Apparatebau die Anwendung gießbarer Aluminiumlegierungen. Sie eignen sich z. B. sehr gut zum Kokillenguß, was beim Messing nicht möglich ist. Es gibt im Automobilbau und in der Elektrotechnik Montierungsteile in großer Zahl, die zahlreiche Durchbohrungen aufweisen. Bei Kokillenguß lassen sich diese gleich mit anbringen. Messing kann wegen seiner hohen Schmelztemperatur in Sandform gegossen werden, was regelmäßig beträchtliche kostspielige Nacharbeit nötig macht.

Der wirtschaftliche Vorteil der Aluminiumverwendung sollte auch beim Schiffsbau und Schiffsmaschinenbau zu energischer Durchdenkung aller Möglichkeiten anregen.

Aluminium und seine Legierungen als Lagermetall.

Versuche, Aluminium als Grundmetall für Lager bewegter Maschinenteile zu verwenden, haben mehrfach zu patentierten Legierungen geführt (z. B. D. R.-P. der AEG Nr. 257868, 1911). Jedoch hat sich bis jetzt keines dieser Patente in der Praxis bewährt. Aluminium schmiert zu sehr. Die Wellen usw. fressen sich daher sehr leicht ein. Doch ist wohl in dieser Frage das letzte Wort noch nicht gesprochen. Für Achsbuchsen ist z. B. Silumin, die bekannte Silicium-Aluminiumlegierung, hervorragend brauchbar. Es wird neuerdings ausgiebig bei der Deutschen Reichseisenbahn für den genannten Zweck verwendet.

Verwendung des Aluminiums in der chemischen Großindustrie.

Die Vervollkommnung der Schweißtechnik wie die Erschmelzung chemisch und mechanisch brauchbarer Aluminiumlegierungen hat seine Einführung in vielen Zweigen der Industrie möglich gemacht, die ihm noch vor wenigen Jahren verschlossen waren.

Heute stellt man Destillierblasen, Lagerfässer, Kochkessel usw. in allen erdenklichen Größen her. Für Brennereien und Brauereien ist es das sauberste und haltbarste Konstruktionsmaterial geworden. Reinaluminiumgefäße werden im Gegensatz zu den alten Holzbottichen von der Maische nicht angegriffen. Aluminiumgärbottiche korrodieren nicht im Innern, sondern höchstens außen. Die feuchte Luft der Gärkeller muß durch geeignete Schutzanstriche von ihnen ferngehalten werden. Die chemische Industrie, die Fett- und Öl-, die Milch- und allgemeine Lebensmittelindustrie, die Zuckerfabrikation sowie die Färberei- und Beizereigewerbe lassen große Teile ihrer Apparatur aus Aluminium herstellen.

In der chemischen Industrie ist seine Verwendbarkeit in erster Linie von seiner Widerstandsfähigkeit gegen die jeweils in Betracht kommenden Stoffe von ausschlaggebender Bedeutung. Wir verweisen deshalb auf den früheren Abschnitt, der von den chemischen Eigenschaften des Reinaluminiums handelt. Zur Ergänzung des früher Gesagten nur einige Beispiele:

Man verwendet Trockenhorden für Tabletten aller Art, für Alkaloide, Schwarzpulver, neutrale Salze usw.; Aluminiumbleche und -pfannen für Kalichlorat- und Erdalkalientrockne, Aluminiumnetze zum Leimtrocknen, Aluminiumkasten zum Trocknen von Chromoxyd und anderen Mineralfarben. Man baut Kühltanks für Kältelösungen und Filterpressen aus Aluminium für Fette und Öle, Destillierblasen für alkoholische und stark ammoniakalische Lösungen, für Wasserdestillationen in der Ölindustrie, Kochkessel für Herstellung von ameisen- und essigsaurer Tonerde, Schmelzkessel, Stand- und Hantierungsgefäße, Rohrkühler bei Fetten, Paraffinen, Fettsäuren und Wachsen, wie auch bei vielen ätherischen Ölen und künstlichen Riechstoffen. Gießpfannen für Stearin haben sich besonders aus der Aluminiumlegierung Magnalium vorzüglich bewährt. Lagergefäße, Koch- und Schmelzapparate bürgern sich auch mehr und mehr bei der Kopal-, Kolophonium- und sonstigen Harzverarbeitung, wie bei der Leinöl-, Firnis- und Lackkocherei ein. Abfüllapparate aus Aluminium haben sich bei der Kohlen- und Milchsäureverarbeitung seit Jahren bewährt.

Aluminiumbleche und -geräte verdrängen im Edelmetallbetrieb mehr und mehr die früher verwendeten Kupfergeräte. Sie widerstehen besser als diese den Angriffen der Salpetersäure. Reinaluminium hat sich in der Salpetersäureindustrie aufs beste eingeführt. Kühlrohre und Aufbewahrungsgefäße aus reinstem Metall haben sich selbst dann noch gut bewährt, wenn 1 bis 2 Proz. Schwefelsäure den Salpetersäuredämpfen beigemischt war. Sehr nachteilig ist dagegen die Gegenwart geringer Salzsäuremengen. Als Heberohre zum Abzapfen konzentrierter Salpetersäure war es zwar beständig,

doch wurden die Säurereste durch Wasseranziehung aus der Luft verdünnt und dann das Metall angefressen. Aus dem gleichen Grunde haben sich Aluminiumrohrleitungen für Salpetersäure nicht bewährt. Ausgezeichnete Erfahrungen hat man mit Lager- und Transportkesseln, Wiegegefäßen, Druckgefäßen und Druckleitungen gemacht, sofern es sich um Salpetersäure über 36° Bé handelt, die Säure weniger als 0,2 Proz. Untersalpetersäure enthält und frei von Chlor und Chlorion ist. Die Salpetersäureindustrie verwendet Aluminiumtransportkessel für Bahnvertrieb mit 12 bis 15 cbm Inhalt. Auch Reinaluminiumrohre zur Ableitung nitroser Gase haben sich recht brauchbar gezeigt. Ebenso werden Geräte aus Aluminium, wie Rohre Töpfe und Mulden, an Stelle von Kupfer für die Herstellung von Kalisalpeter mit bestem Erfolge benutzt. Beizkübel aus 5 mm starkem Aluminiumblech, siebartig gelocht und vernietet, zur Aufnahme geglühter Messing- und Kupferteile, die in 10- bis 15proz. heißer Schwefelsäure gebeizt werden sollen, haben eine doppelt so große Lebensdauer als solche aus dem bisher verwendeten Messing. Spinntöpfe aus Reinaluminguß (Nitoritguß der Firma Baer & Co., Rastatt) finden bei der Erzeugung roher Kunstseide, die unter Benutzung 15proz. Schwefelsäure hergestellt wird, ausgedehnte Verwendung. Diese Zentrifugentöpfe laufen mit 10000 Umdrehungen in der Minute. Sie vermochten bei Versuchen sogar bis zu 20000 Umdrehungen auszuhalten. Die Zuckerfabrikation kann Kochgefäße und Kristallisierschalen für Zuckerlösungen, wie auch Zuckersiebe unbedenklich verwenden. Im Molkereigewerbe kommt es zu Zentrifugentrommeln, Lager- und Transportgefäßen immer mehr in Aufnahme.

Nach einem Verfahren der Firma Peter Junk, Offenbach, D. R.-P. 368694, ist es neuerdings auch gelungen, dampfdichte Vulkanisiermulden aus Aluminium herzustellen, das sind Hohlkörper verschiedenster Formen und Querschnitte, wie sie zur Erzeugung von Autoreifen, Fahrradschläuchen und dergleichen gebraucht werden. Diese Hohlkörper, die mehrere Atmosphären Druck aushalten müssen, konnte man bisher nur aus Eisen bauen. Sie waren naturgemäß sehr schwer und verbrauchten wegen ihrer Dicke große Wärmemengen, waren auch, da sie nicht aus Gußeisen gefertigt sein durften, schwierig herzustellen und deshalb teuer. Die neuen Formen werden durch Aluminiumguß gewonnen, indem man zunächst einen dünnen Hohlkörper aus Reinmetall erzeugt und diesen mit einer Aluminiumlegierung umgießt.

Flüssige pharmazeutische Stoffe wie auch Produkte der Parfümindustrie lassen sich mit Vorteil in Aluminiumflaschen aufbewahren und verschicken. Bei Exporten nach Ländern, die Gewichtszoll erheben, dürfte diese Transportart von Vorteil sein.

Reinaluminium ist im Gegensatz zu seinen meisten Legierungen bei richtiger Behandlung hervorragend weich und dehnbar. Diese Eigenschaften haben wichtige Anwendungen gefunden. So ist die Tube aus diesem Reinmetall ein für flüssige und salbenartige Produkte besonders geeignetes Gefäß.

Obwohl erst eine Errungenschaft des letzten Jahrzehntes, hat man mit seiner Herstellung schon so gute Erfahrungen gemacht, daß sie die früher ausschließlich verwendeten dünnwandigen Metallröhrchen aus Zinn, Blei oder Kompositionsmetall (Blei-Zinn) völlig aus dem Felde zu schlagen beginnt. Als „Fenagtube“ (Fenag A.-G., Nürnberg) erfreut sie sich steigender Beliebtheit. Ihre größere Widerstandsfähigkeit gestattet eine rauhere Behandlung. Ihr Gewichtsverhältnis ist zur Bleitube 1:5, zur Zinntube 1:3, für Transportzwecke gewiß von nicht zu unterschätzender Bedeutung. Alle erdenklichen Füllungen, selbst saurer oder alkalischer Natur, kann man der Aluminiumtube geben, seit man geeignete Schutzlacke kennt, die fast jede Einwirkung von Füllmasse auf Metall verhindern. Nur für wenig Füllungen ist die Aluminiumtube ungeeignet, z. B. für Quecksilberpräparate auf wässriger Salbengrundlage, was ja begreiflich ist, da Quecksilber das gefährlichste Gift für Reinaluminium darstellt.

Nicht minder wichtig ist die Aluminiumfolie, wie sie z. B. das Singener Aluminiumfeinwalzwerk Dr. Lauber & Co. unseres Wissens zuerst in Verkehr gebracht hat. Die feine, knisternde, silberweiße Hülle, leichter und billiger wie Stanniol, dazu hygienisch völlig einwandfrei, absolut ungiftig, selbst bei Zersetzung weder durch Schwefelwasserstoff, noch durch andere Gase der Atmosphäre in nennenswertem Maße angreifbar, ist das gegebene Verpackungsmittel für Lebensmittel, Süßigkeiten aller Art, Butter, Käse, Tabak, Tee, pharmazeutische und kosmetische Erzeugnisse. Auch sonst spielt das Aluminium im Verpackungswesen als Dose und Büchse, als Flaschenkapsel und Korkunterlegblättchen eine Rolle.

Dünne Aluminiumbleche benutzt man auch, nachdem man sie bedruckt, bemustert und zu Reliefs ausgeprägt hat, als Zierkanten oder zu Wandbelägen. Sie sind dauerhafter und wirkungsvoller als Papiertapeten. Aluminium ist auch ein vortrefflich geeignetes Material für Schreibgriffel, um Matrizen aus Wachspapier für Durchdruckzwecke in Handarbeit herzustellen. Zeichnungen, Figuren, Noten usw. lassen sich mit dem weichen, fettigen Stift nicht schwieriger als wie mit Bleistift wiedergeben.

Verwendung der thermischen Eigenschaften des Aluminiums.

Eine Reihe wichtiger Verwendungsmöglichkeiten für Aluminium und seine Legierungen ergeben sich auch aus seinen thermischen Eigenschaften. Technisch ausgenutzt werden

vor allem das gute Wärmeleitvermögen und die überraschend hohe Wärmekapazität des Aluminiums. In der Möbelindustrie verwendet man es zu Wärmeausgleichplatten für Furnierarbeiten und zu Wärmetischen, im Maschinenbau für Kondenstöpfe, Kühler und Kühlbutzen. Von ganz besonderer Bedeutung ist aber seine neuerliche Verwendung zu Zylinderkolben von Verbrennungsmaschinen. Das Leichtmetall, d. h. neben Aluminiumlegierungen auch Elektron, ist drauf und dran, die bis vor kurzem allein aus Eisen hergestellten Kolben völlig zu verdrängen. Durch Anwendung des Aluminiumkolbens wird der Verbrennungsmotor nicht nur wesentlich leichter, das vorzügliche Wärmeleitvermögen gestattet auch die schädliche Wärme rasch abzuführen und ermöglicht es, den Motor bei höherer Tourenzahl laufen zu lassen, was aber einer besseren Ausnutzung der Verbrennungswärme gleichkommt.

Verwendung des Aluminiums im Bilddruck.

Eine eigenartige Verwendung findet Reinaluminium in der Lithographie. Als Aluminiumgravüre ist es vielfach an die Stelle von Steindruck getreten, wie die Broschüre „Der Aluminiumdruck“ von C. Weinlandt des näheren ausführt. Nach diesem Autor beruht seine Verwendbarkeit darauf, daß es für Fette sehr empfänglich ist, daß aber Stellen, die mit Phosphorsäure behandelt wurden, diese Eigenschaft nicht mehr zeigen. Der Druck ist demnach ein Flachdruck, d. h. ähnlich wie beim Steindruck ist der Druckkomplex weder erhaben noch vertieft.

Die Verwendung solcher Aluminiumplatten ist von Scholz in Mainz vorgeschlagen worden. Sie liefern sehr gute und haltbare Umdrucke und sollen sich für den feinsten und künstlerisch vollendeten Druck sehr gut eignen. Dabei sind sie sehr viel leichter und billiger als lithographische Steine und wegen ihrer Biegsamkeit können sie in einfacher Weise für die Schnelldruckzylinderpressen hergerichtet werden.

Auch zur Herstellung von Lichtdruckplatten wird es benutzt und soll sich dabei durch genaue Wiedergabe der Details und große Schärfe der Bilder auszeichnen.

Nach D. R.-P. 247 820 benutzt man es auch zu Flachdruckformen. Als Ätzmittel schlägt die Patentschrift ein Gemisch aus 6 Tln. kieselfluorwasserstoffsäurem Ammon, 15 Tln. zweifach phosphor- und 10 Tln. salpetersäurem Ammon, nebst 7 Tln. salpetersäurem Aluminium in sehr verdünnter Gummiarabikumlösung vor. Die Ätzung ist nach einer Minute ausreichend tief. Die Druckform muß dann gründlich gewaschen und getrocknet werden.

Aluminium in der Kunst und im Kunstgewerbe.

Verhältnismäßig bescheiden ist zurzeit noch die Stellung des Aluminiums in der Kunst und im Kunstgewerbe. Am meisten verwendet man es noch in Form von Legierungen, deren es eine ganze Anzahl gibt, die, hochpolierfähig und schön in Glanz und Farbe, gern für billige Schmuck- und Galanteriewaren gebraucht werden. So ist die Aluminiumbronze mit 10 bis 8 Proz. Aluminium rein goldgelb, mit 5 Proz. rotgelb und erst mit 2 Proz. rot, entsprechend dem Grundmetall Kupfer, gefärbt. Sie ist chemisch sehr widerstandsfähig, für kunstgewerbliches Schaffen recht geeignet. Als Legierung aus 91,5 Proz. Kupfer und 8,5 Proz. Aluminium wird sie, wie schon erwähnt, im Deutschen Reich seit 1924 zu Münzzwecken benutzt. Die schön geprägten, sauberen und haltbaren 5-, 10- und 50-Pfennigstücke sind rasch beliebt geworden, während die Münzen aus Reinaluminium, Erzeugnisse der Inflationszeit, nicht zum wenigsten infolge ihrer mangelhaften Ausführung sich nur kurze Zeit der Anwendung erfreuen konnten. Sie waren nach Prägmanier und Dekor ästhetisch zu wenig durchgebildet.

Das mit einem Schein ins Rötliche gehende, sehr zähe und harte Rosein, aus 40 Proz. Nickel, 10 Proz. Silber, 30 Proz. Zinn und 20 Proz. Aluminium, ist eine vom Juwelier gern verarbeitete Legierung. Auch das Romanium aus Aluminium-Nickel-Wolfram, die Sonnenbronze aus Aluminium-Kupfer-Kobalt, das Metallin aus Eisen-Kobalt-Kupfer-Aluminium, das Nürnberger Gold, ein Aluminium-Kupfer mit 2,5 Proz. Gold, das Nürnberger Silber, in entsprechender Zusammensetzung, sind viel gebrauchtes Material für billigere Schmucksachen, ganz abgesehen davon, daß hochwertiger Silber- und Goldschmuck, statt mit Kupfer, ebensogut mit Aluminium legiert werden kann.

Reinaluminium freilich hat als Material für den Kunstgewerbler noch nicht die rechte Aufnahme finden können. Ein eigener Stil, wie er für Messing, Kupfer, Bronze und Eisen besteht, hat sich noch nicht herausgebildet. Man hält das schlichtfarbene, etwas ins Bläulichgraue und Erdige gehende Metall für ästhetisch zu unscheinbar. Eine Edelpatina läßt sich bei ihm so wie beim Kupfer nicht erzeugen, da es haltbare farbige Aluminiumverbindungen nicht gibt. Und doch gestattet die heutige Stufe der Oberflächenbehandlung bereits schöne, eigenartige Farbeffekte zu erzielen, wie sie eben nur bei Aluminium möglich sind. Erinnerung sei an das an früherer Stelle beschriebene Verfahren, Aluminium nach starker Oxydation in der dadurch erhaltenen Tonerdeschicht mit Anilinfarben einzufärben. Reinaluminium läßt sich doch auch sehr gut hämmern, polieren, gravieren und ziselieren. Wählt man nun noch als Schmuck-

formen solche, die dem, wenn man so sagen darf, ernsten, unaufdringlichen Farbton des Grundmetalls Rechnung tragen, so müßten sich auch mit ihm eigenartig schöne Wirkungen erzielen lassen. Bescheidene Versuche, in diesem Sinne zu wirken, liegen denn auch bereits vor. Metallschilder jeder Art und Größe, Beschläge für Türen und Möbelstücke, Auflageplättchen für kunstgewerbliche Objekte sind hier die ersten bescheidenen Vorläufer. Als Material für kunstgewerbliches Schaffen mit höheren Zielen muß es jedoch erst noch entdeckt werden.

Aluminium und seine Legierungen in der Elektrotechnik.

Wichtige physikalische Eigenschaften haben dem Reinaluminium auch das weite Feld der elektrotechnischen Anwendung eröffnet, während die Aluminiumlegierungen aus den in früheren Abschnitten dieses Buches dargelegten Gründen fast völlig zurücktreten. Kupfer galt noch vor kurzem als Metall der Elektrotechnik schlechthin. Ihm wird vom Reinaluminium neuerdings die schärfste Konkurrenz gemacht. Auf dem Gebiete der Starkstromtechnik ist es nur noch eine Frage der Wirtschaftlichkeit, ob man dem roten oder dem weißen Metall den Vorzug gibt, während es allerdings für Schwachstromanlagen ungeeignet ist, da die bekannte Oxydhaut zu große Kontaktwiderstände bildet. Dabei folgt Deutschland mit einer bei seiner Wirtschaftslage merkwürdigen Zurückhaltung nur zögernd den in dieser Hinsicht vorausseilenden Westvölkern. In steigendem Maße benutzt Frankreich, das klassische Land der Aluminiumindustrie, das neue Metall zu elektrischen Freileitungen. In seiner Aluminiumwoche von 1921 brachte es eine umfangreiche elektrotechnische Abteilung zusammen, die einen Begriff von der großen Verwendungsmöglichkeit des Reinaluminiums auf diesem großen Gebiet der Technik und dem hohen Stand der französischen Elektroindustrie zu geben vermochte. Neben bildlichen Darstellungen bereits fertiggestellter Hochspannungsleitungen aus Aluminium sah man da Kabelschlösser und Hängestücke, Befestigungen und Vorrichtungen für Isolatoren, Meß- und sonstige Apparate, Widerstände, kleine Motoren, Ventilatoren, Lampenfassungen, Beleuchtungskörper, Wicklungen für kleine Maschinen, Transformatoren, Fassonteile und dergleichen aus dem neuen Metall. Daß schließlich das französische Syndikat für Elektrizität mit Nachdruck für die Verwendung des heimischen Produktes eintrat, ist nicht weiter verwunderlich, zumal Frankreich keine eigene Kupfererzeugung besitzt. Aber auch das reichste Kupferland der Welt, die Vereinigten Staaten von Nordamerika, verwenden ganz ausgiebig Reinaluminium zu Hochspannungsanlagen und sonstigen elektrotechnischen Zwecken,

was nur aus der Erkenntnis der wirtschaftlichen Überlegenheit des weißen über das rote Metall erklärt werden kann.

Wenn auch, wie schon gesagt, in Deutschland zögernd und vorsichtig an der Frage der Aluminiumverwertung in der Elektrotechnik gearbeitet wird, so geschieht dies jedoch, seit wir über eine große Aluminium erzeugende Industrie verfügen, mit wachsender Energie. Führende Firmen, wie die Hedderheimer Kupfer- und Süddeutschen Kabelwerke A.-G., Frankfurt a.M., Felten & Guilleaume, Carlswerk A.-G., Köln-Mülheim und die Firma Karl Berg A.-G., Werdohl i. Westf., haben nicht nur in ihren Veröffentlichungen über die Verwendung von Aluminium für Freileitungszwecke die Brauchbarkeit in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht dargelegt, sondern es auch durch praktische Ausführungen seit mehr als 20 Jahren erprobt.

Ihren Werbeschriften seien im folgenden einige Angaben entnommen:

Die Dauerhaftigkeit der Freileitungen aus Aluminium ist wie bei Kupfer nahezu unbegrenzt. Wie dieses, so überzieht sich auch Aluminium mit einer dünnen Oxydschicht, die jeden weiteren Angriff feuchter Luft unmöglich macht, doch nur dann, wenn mindestens 99proz. Hüttenaluminium verarbeitet worden ist. Aluminiumlegierungen sind für die genannten Zwecke im allgemeinen unbrauchbar. Eine Ausnahme scheint nur das als Aludur bezeichnete, schwach legierte Metall zu machen, dessen Verwendbarkeit für elektrotechnische Zwecke sogar noch größer als von Reinaluminium sein soll. Doch hat auch dieses merkwürdige Metall einen Gehalt von mindestens 99 Proz. Reinaluminium.

Eine Schwierigkeit bei der Benutzung von Reinmetall als Freileitungsmaterial besteht in der geringen Zugfestigkeit und der großen Dehnung, die z. B. die Anwendung eindrähtigen Aluminiums überhaupt verbietet. Brauchbar ist es nur als vieldrähtiges Aluminiumseil. Nach dem Normblatt für Starkstromleitungen vom Januar 1924 gilt es neben Kupfer als Normalbaustoff (vgl. die Normblätter DIN VDE 8200 und 8201 im Anhang, S. 323 und 324). Die reinen Aluminiumseile sind jedoch, trotz ihrer im Vergleich zu Kupferseilen geringeren Belastung der Tragkonstruktionen und Abspannvorrichtungen, bei großen Freileitungen nicht brauchbar. Sie ergeben bei größeren Spannweiten zu große Durchhänge und bieten nicht genügend Sicherheit, da ihre Bruchfestigkeit zu gering ist. Von Zeit zu Zeit treten große Dehnungen auf, die sich trotz wiederholtem Abspannen immer wieder ändern. Diesem Übelstand ist man mit Erfolg durch Konstruktion der Aluminiumstahlseile entgegengetreten, deren Sicherheit sogar größer ist als die gleich schwerer, hartgezogener Kupferseile. Diese Seile besitzen ein Stahlherz aus

verzinktem und verseiltem Stahldraht von 120 kg/qmm Bruchfestigkeit, um das zwei Lagen von verseilten, hartgezogenen Aluminiumdrähten herumgezogen sind. (Vgl. Versuche und Richtlinien für die Konstruktion und Berechnung von Stahl-Aluminium-Freileitungsseilen, Dr. Breiling, Felten & Guilleaume, Carlswerk A.-G., Köln-Mülheim.) Nach den bisherigen praktischen Erfahrungen haben sich die Stahl-Aluminiumseile als dauerhaft und zuverlässig erwiesen. Sie sind den Kupfer-Freileitungsseilen sogar technisch überlegen, was schon dadurch bestätigt wird, daß in dem Kupferlande Nordamerika Seile dieser Art in großem Umfange verlegt werden und sich dort trotz hoher Beanspruchungen durch Temperaturschwankungen, Winddruck und Schneelast selbst bei sehr großen Spannweiten vortrefflich bewährt haben.

Die konstruktive Durchbildung des Stahl-Aluminiumseiles hat dazu geführt, die bisherigen Querschnittverhältnisse von 1 : 2 bzw. 1 : 3 zwischen Stahl und Aluminium zugunsten des Aluminiums zu ändern, da sich herausgestellt hat, daß das Aluminium im hohen Maße mitträgt. Das dem Kupferseil gleichwertige Stahl-Aluminiumseil besitzt daher zwischen Stahl : Aluminium bei kleinem Querschnitt das Verhältnis 1 : 3,7, bei mittlerem 1 : 4, bei großem 1 : 4,2.

Auf dieser Grundlage ist nach Vorschlag des Obering. Hiller eine Normungstabelle aufgestellt und von dem Normungsausschuß der Deutschen Industrie im Einverständnis mit den interessierten Firmen veröffentlicht worden. Als Umrechnungsfaktor gilt Kupfer : Aluminium = 1 : 1,75 (vergleiche hierzu „Vorläufige Normungstabelle“).

Dieses Stahl-Aluminiumseil ist nun neuerdings nach den Behauptungen der Studien- und Verwertungsgesellschaft „Leichtmetall“ durch deren Aludurmetalle, besonders Qualität 533/2, überholt worden. Dieses hochwertige Freileitungsmaterial soll gegenüber gewöhnlichem Aluminium eine Steigerung seiner mechanischen Eigenschaften um 40 Proz., bei einer praktisch minimalen Einbuße seiner Leitfähigkeit um 2 bis 3 Proz., aufweisen, beträgt doch die Festigkeit des Einzeldrahtes 27 bis 30 kg/qmm und der spezifische Widerstand bei 20° C 0,03 bis 0,021 Ω pro Meter Länge und Quadratmillimeter Querschnitt. Es ist dadurch möglich geworden, einfache Aluminiumleiter von halbem Gewicht ohne Zuhilfenahme einer Seele aus anderem Metall bei gleicher Sicherheit und gleichem Durchhang wie bei Stahl-Aluminiumseilen zu verwenden.

Diese technische Überlegenheit des Aludur über Handelsaluminium und Kupfer zeigt die nachstehende Vergleichsübersicht der Leichtmetallverwertungsgesellschaft.

Übersicht über die elektrischen und mechanischen Eigenschaften von Aludur-, Handelsaluminium- und Kupfer-2—3-mm-Drähten.

Eigenschaften	Aludur	Handelsaluminium	Kupfer
Härtegrad	halbhart	hart	hart
Zugfestigkeit kg/qmm	27—30	20—22	40—44
garantiert	27	20	—
Bruchdehnung Proz. (Länge = 25 cm) .	2,5—3,5	2—3	1,5—3
Biegungen (über $r = d$)	3—4	5—6	2,4—3,3
Wärmeausdehnungszahl	0,000 023	0,000 023	0,000 017
Spezifisches Gewicht	2,7	2,7	8,9
Elektrische Leitfähigkeit bei 20° C . .	32—33	33—33,6	54—58
garantiert	32	33	—
Querschnitt bei gleichem Leitwert . .	1,72	1,68	1
Gewicht „ „ „	0,522	0,510	1
Festigkeit „ „ „	1,17	0,84	1

Vergleichende Übersicht über die elektrischen und mechanischen Eigenschaften von Aludur-, Handelsaluminium- und Kupfer-2—3-mm-Drähten.

Die Festigkeit von Seilen ist im allgemeinen = 90 Proz. der Summe der Einzeldrahtfestigkeit.

Zugfestigkeit kg/qmm		20 Aluminium 27 Aludur 40 Kupfer
Bruchdehnung Proz. (Länge = 25 cm)		2,3 Kupfer 2,5 Aluminium 3,0 Aludur
Biegungen (über $r = d$)		2,9 Kupfer 3,5 Aludur 4,5 Aluminium
Wärmeausdehnungszahl		17 · 10 ⁻⁶ Kupfer 23 · 10 ⁻⁶ Aluminium 23 · 10 ⁻⁶ Aludur
Spezifisches Gewicht		2,7 Aludur 2,7 Aluminium 8,9 Kupfer
Elektrische Leitfähigkeit bei 20° C		32,5 Aludur 33,3 Aluminium 56 Kupfer
Querschnitt bei gleichem Leitwert		1 Kupfer 1,68 Aluminium 1,72 Aludur
Gewicht bei gleichem Leitwert		1,02 Aluminium 1,04 Aludur 2 Kupfer
Festigkeit bei gleichem Leitwert		1 Aluminium 1,2 Kupfer 1,4 Aludur

Selbst stundenlange Erhitzungen durch starke Strombeanspruchungen haben bei ihm keine Anlaßwirkungen, während hartgezogene Kupfer- und Aluminiumdrähte einen Teil ihrer ursprünglichen Festigkeit verlieren. Die Drahtverbindungen können bei Aludur durch autogenes Schweißen hergestellt, und die Seilverbinder mit Vorteil aus dem gleichen Metall konstruiert werden. Eine Entstehung elektrischer Lokalströme mit ihren zerstörenden Wirkungen ist daher ausgeschlossen.

In elektrischer Beziehung weist dabei Aludur, ähnlich wie Aluminium, dem Kupfer gegenüber einige Vorteile auf: Infolge des größeren, zur Anwendung kommenden Querschnittes sind bei Hochspannungsleitungen auftretende Glimmverluste geringer als bei Kupfer. Die Energieersparnisse können dadurch bis zu 30 Proz. betragen. Aluminium- und Aludurleiter können auch stärker als äquivalenter Kupferdraht belastet werden, da die abkühlende Oberfläche etwa 30 Proz. größer ist.

Eine Hauptbedingung der glatten Verwendbarkeit des Freileitersmaterials aus Aluminium, Stahlaluminium und Aludur für Starkstromhochspannungen, Mittelspannungen und Ortsnetze ist aber die Schaffung billiger, einfacher und zuverlässiger Armaturen.

Auf Veranlassung des Metallwirtschaftsbundes ist zu dem Zwecke, „eine größere Verwendungsmöglichkeit des Aluminiums“ herbeizuführen, ein öffentliches „Prüfungsausschreiben für Aluminiumarmaturen“ erlassen worden, dessen noch in diesem Jahre zu erwartendes Ergebnis hoffentlich die hochwichtige Frage lösen und so die letzten Hindernisse bei der Verwirklichung des gesteckten Zieles restlos beseitigen wird, und zwar werden verlangt: 1. Armaturen für Freileitungen aus Rein- und Stahlaluminiumseilen, Leitungsbefestigungen in Stütz- und Hangisolation, auf Zug beanspruchte Vorrichtungen zum Verbinden von Aluminium mit Aluminium oder anderen Metallen; 2. Armaturen für Installation, Verbindungsklemmen in Abzweigdosen, Abzweigklemmen, Mauerdurchführungen; 3. Armaturen für Schaltanlagen, Leitungsträger, Stützen, Flachschienen, Verbinder zwischen diesen und elektrischen Apparaten bei Stromstärken über 300 Amp.; 4. Armaturen für Kabel mit Aluminiumleitern: Verbindungsmuffen, Abzweigmuffen, Endverschlüsse, Kabelschuhe und -kasten und dergleichen.

Daß bei normaler Weiterentwicklung der Dinge Aluminium bald der bevorzugte elektrische Leiter sein wird, ist mit Sicherheit zu erwarten, wenn erst das Montierungsgerät, die Abwicklungstrommeln, die Isolatoren und Verbinder, die Kabelschuhe und Klemmen, die bisher nach der Eigenart des Kupfers gebaut, ganz allgemein den Eigenschaften des Aluminiums angepaßt worden sind,

wie dies bereits jetzt von einigen Firmen versucht worden ist, die zweckmäßige Formen auf den Markt gebracht haben.

Eine solche Konstruktion ist beispielsweise die Hedderheimer Stoßverbindung für Freileitungen. Diese völlig neuartige Verbindung vermeidet die Mängel der bisherigen Schraub-, Klemm-, Würge- und Nietverbinder und besitzt in bisher unerreichtem Maße die Eigenschaften eines guten Verbinders, wie hohe mechanische Festigkeit, geringsten Übergangswiderstand, vollkommenen Kontaktschutz bei unbegrenzter Dauerhaftigkeit, absolute Betriebssicherheit, geringes Gewicht und elegantes, unauffälliges Aussehen.

Mit der Verwendung des Aluminiums als Freileitungsmaterial ist seine Anwendungsmöglichkeit in der Elektrotechnik aber keineswegs erschöpft. Zu Sammelschienen, für Spulen bei Widerstandsätzen, elektrische Maschinen, Transformatoren, elektrische Zähler und sonstige elektrotechnische Apparate wird es mit Erfolg verwendet, wie es auch zu Ausschaltern, Stromunterbrechern, Lampenfassungen, Sicherungen, Fahrbügeln für elektrische Straßenbahnen und dergleichen mehr und mehr benutzt wird.

Mit besonderem Vorteil wird Aluminium noch verwendet für größere Schalttafeln und Stromverteilungsanlagen. Die infolge der geringeren Leitfähigkeit vergrößerten Dimensionen ergeben eine größere Oberfläche und damit eine bessere Abkühlungsmöglichkeit. In solchen Fällen ist es nicht nötig, das Verhältnis 1 : 1,7 bezüglich der Leitfähigkeit zwischen Kupfer und Aluminium einzuhalten. Es genügt, den Aluminiumquerschnitt für solche Zwecke auf das 1,3- bis 1,4fache zu bemessen. Unter Berücksichtigung dieses Umstandes beträgt das Gewicht von Aluminiumschienen für Schaltanlagen nur 40 Proz. des Gewichtes der entsprechenden Kupferschienen.

Merkwürdig ist, daß sich selbst blanker Aluminiumdraht zur Bewicklung von Spulen eignet, sofern die Spannung zwischen den einzelnen Windungen 0,5 Volt nicht übersteigt.

Nach D. R.-P. 176009, 1905, hat Robert Hopfelt als erster diese Eigenschaft technisch verwertet. Anwendbar ist der ohne besondere Vorbehandlung aufgewickelte Aluminiumdraht aber nur bei Strömen geringer Spannung und unter Einbringen isolierender Schichten zwischen die einzelnen Lagen der Spule. Dadurch geht aber der Vorteil der Raumersparnis (gegenüber der Anwendung von Isolierdraht) wieder verloren.

Verstärkt man jedoch die natürliche, wie Isolierlack wirkende Oxydschicht durch geeignete chemische Behandlung, so erhält man ein eigenartiges auch für höhere Spannungen technisch hervorragend brauchbares Spulenmaterial, das nicht nur wesentlich leichter, sondern zugleich viel hitzebeständiger als isolierter Kupferdraht ist.

Als Aldradraht erfreut er sich beim Bau von Elektromagneten und anderen Apparaten einer rasch steigenden Beliebtheit.

So baut die AEG aus ihm Feld- und Wendepolspulen von Straßenbahnmotoren, Weichenstellapparaten, Kontrollern und Solenoidbremsen. Das Krupp-Grusonwerk in Magdeburg rüstet seine Magnetscheider in allen Größen und für Spannungen von 110 bis 150 Volt mit oxydierten Aluminiumspulen aus. Die Spulen bei Elektrokarren und -kranen sind neuerdings häufig aus dem gleichen Material. Elektroöfen, Schloßsicherungen, Druckknopfsteuerungen sind vielfach mit ihm versehen. Besonders in die Augen fällt aber der Fortschritt in der Konstruktion der großen Lastmagnete elektrischer Hebezeuge, der durch Einbau von Aluminiumspulen erzielt worden ist. Beträgt doch z. B. das Gewicht einer Aluminiumspule von 1300 mm Durchmesser nur 360 kg gegen 900 kg der entsprechenden Kupferspule. 1908 erschienen die ersten derartigen Spulen auf dem Markt. Gegenwärtig sind bereits weit über 70000 kg Aluminiumdraht von der Spezialfabrik für Aluminiumspulen und -leitungen, Berlin SO 16, die in einer ganzen Reihe von Patenten durch Verbesserung des Oxydierungsprozesses die Brauchbarkeit in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht zu steigern sich bemüht hat, verarbeitet worden. Eines der ältesten Patente auf diesem Sondergebiete der Aluminiumverwertung ist D. R.-P. 263 607, 1910. Es benutzt die Tatsache, daß Aluminium bei Stromdurchgang in wässriger Salzlösung stark polarisiert wird. Zur Erzeugung einer genügend dichten und zähen Oxydschicht wird die Spannung des in der Regel doppeltkohlensäuren Natriumbades so hoch gewählt, daß die Polarisationsspannung des Aluminiums gerade überwunden wird, das sind etwa 220 Volt. Funkenbildung und schädliche Überhitzung ist dabei zu vermeiden. Die Stromdichte sei etwa 10 Amp./qcm. Die in kurzer Zeit gewonnene stahlgraue Schicht ist sehr hart, widerstandsfähig gegen Reibung und Stoß und isoliert so gut, daß ein Strom von 220 Volt den Draht durchfließen kann, ohne daß merkliche Stromübergänge zwischen den benachbarten Wicklungen auftreten.

D. R.-P. 264 534, 1911, der Spezialfabrik für Aluminiumspulen sucht isolierendes Aluminiumoxyd elektrolytisch auch auf andere Leiter (Kupfer) niederzuschlagen. Es soll dies dadurch erfolgen, daß ein aluminiumsalzhaltiger Elektrolyt mit Aluminium als Anode und dem mit Isolierschicht zu versehenen Leiter als Kathode arbeitet. Verstärkt soll die Wirkung noch nach Zusatzpatent 266 355 dadurch werden, daß man Quecksilbersalze, z. B. Quecksilbernitrat, dem Bade zugibt.

Nach D. R.-P. 355 185, 1917, wird der Spulendraht vor dem Aufwickeln mit starken Oxydationsmitteln behandelt. Nach dem Einbau

muß jedoch eine Nachbehandlung mit schwächeren Oxydationsmitteln erfolgen, die etwa beschädigte Stellen der künstlichen Deckschicht wieder erneuern. Mit Vorteil wird man bei der Nachbehandlung solche chemische Stoffe wählen, die zugleich auf das etwa noch vorhandene erste Oxydationsmittel neutralisierend wirken. Z. B. kann man den Draht zuerst mit Sodalösung erwärmen, während man nach der Wicklung nur mit Wasser oder schwachsaurem Oxydationsmittel nachbehandelt. Zuletzt wird die fertige Spule sorgfältig getrocknet.

Das D. R.-P. 356700, 1917, endlich erstrebt eine möglichst günstige Ausnutzung des vorhandenen Wicklungsraumes. Es schlägt an Stelle eines Rundaldradrahtes von 30 qmm Querschnitt die Anwendung von Flachdraht mit z. B. 2 mm Dicke und 15 mm Breite vor. Derartiges Band besitzt nicht die Steifigkeit von Runddraht, seine Deckschicht wird weniger leicht beschädigt. Die Joulesche Wärme kann nicht zu starker Erhitzung und Lockerung der einzelnen Windungen führen.

Die dünne Oxydschicht nach D. R.-P. 263603 ermöglicht die völlige Ausnutzung des vorhandenen Wicklungsraumes.

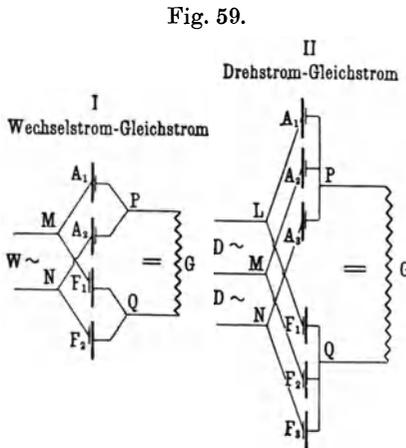
Verwendung des Reinaluminiums beim Bau von Wechselstrom-Gleichrichtern und elektrolytischen Kondensatoren.

Die Eigentümlichkeit des Aluminiums, unter gewissen Bedingungen als Anode in eine Zersetzungszelle gebracht, dem Stromdurchgang einen derartig hohen Widerstand zu bieten, daß eine außerordentlich hohe Spannung notwendig ist, um ihn zu überwinden während es bei Verwendung als Kathode ein normales Verhalten wie andere Metalle zeigt, hängt mit der leichten Oxydierbarkeit des Aluminiums zusammen und hat seine Ausnutzung beim Bau von Wechselstromgleichrichtern veranlaßt.

Seine Verwendung zu dem genannten Zwecke wurde erstmalig 1888 von Neyreneuf (Journ. de Phys., S. 250) vorgeschlagen. 1891 beschrieb D. Bottome im Electrical Engineer. einen von ihm erfundenen Gleichrichter ähnlicher Art. Auf demselben Prinzip beruhende Apparate wurden dann 1895 von Pollak und 1897 von Graetz, ohne von den früheren Arbeiten Kenntnis zu haben, konstruiert. Am bekanntesten ist der Gleichrichter von Graetz geworden.

Schickt man den Wechselstrom durch eine elektrolytische Zelle mit einer Aluminiumelektrode, so werden diejenigen Teile des Wechselstromes, in denen das Aluminium Anode ist, nicht hindurchgelassen. Man bekommt unterbrochenen Gleichstrom, die Hälfte des Wechselstromes aber geht verloren. Die Graetzsche Schaltung

bewirkt jedoch, daß sich der ganze Wechselstrom in pulsierenden Gleichstrom verwandelt. Sie ist in Fig. 59 angegeben. MN sind die Klemmen einer Wechselstrommaschine, $A_1A_2F_1F_2$ vier elektrische Zellen. Die langen Striche bedeuten Aluminium-, die kurzen andere (z. B. Kohle- oder Blei-, Eisen-)Elektroden. Ist in der ersten Periode des Wechselstromes Klemme M positiv, so fließt der Strom über F_1QA_2 nach N . Ist in der nächsten Periode N positiv, so fließt er über $F_2QP A_1$ nach M . In P ist also immer die gleiche Stromrichtung. Entsprechendes gilt von dem Drehstromgleichrichter (s. Fig. 59).



Als Elektrolyt benutzte Graetz anfänglich verdünnte Schwefelsäure und konnte damit Wechselströme bis zu 27 Volt Spannung transformieren. Später ging er nach Pollaks Vorgang zu neutralen und alkalischen Flüssigkeiten, wie Alaunlösung, Ammonium-, Kalium- und Natriumphosphat, über, mit denen er Ströme mit Spannungen bis zu 140 Volt transformieren konnte.

An Verbesserungsvorschlägen hat es in den Jahren 1900 bis 1913 nicht gefehlt. Sie liefen sämtlich darauf hinaus, das für kleine Apparate, also geringe Stromstärken geeignete Verfahren auch zur Anwendung im großen durchzubilden. Man fand dabei: Die Formen, die man den Aluminium-Elektroden gibt, sind unwesentlich. Wichtig ist aber, daß sie dauernd vom Elektrolyten gespült werden, wenn eine rasch eintretende Zerstörung des aktiven Metalls vermieden werden soll. Nodon hat deshalb die Zelle so gebaut, daß die Aluminiumanode von der zylindrischen Eisenkathode, die siebartig durchbohrt ist, umgeben wird. Die Anode steckt völlig im Elektrolyten (Ammoniumphosphat). Sie wird von unten durch einen Kautschukring in die Zelle eingeführt. Die Flüssigkeit wird beim Betrieb der Gleichrichter stark erwärmt. Da die Temperatur aber höchstens bis 40°C steigen darf, muß gekühlt werden. E. Jahr, Berlin, sucht dies zufolge D. R.-P. 263674, 1912, dadurch zu erreichen, daß er die Anoden mit gut leitenden Metallen, Silber oder Kupfer, verbindet. Nach Berta Steflitschek, D. R.-P. 266531, 1913, sind die Aluminium-Bleizellen in sechsstündigem Betrieb erschöpft. Um einen automatischen Dauerbetrieb zu ermöglichen, schaltet sie eine Bleipufferbatterie so ein, daß diese betätigt wird, wenn die

Hauptzelle entleert und mit frischem Elektrolyten beschickt wird, was durch eigenartige Schaltung selbsttätig geschieht. Alfred Heinz, Paris, sucht (D. R.-P. 271085, 1913) die Wirksamkeit des elektrolytischen Gleichrichters dadurch zu steigern, daß er eine Bleiantimokathode einführt und die Polarisierung dadurch unterbindet, daß er den Elektrolyten ständig durch die Löcher der siebartigen Kathode zur Anode fließen läßt. Louis Iklé, Köln, hat nach D. R.-P. 284673, 1913, den elektrolytischen Gleichrichter dadurch verbessert, daß er einen basischen kohlen-sauren Kupferoxydammoniak-elektrolyten verwendet, der in der Zelle erst entsteht und das aktive Metall weniger angreift als alle übrigen bekannten Elektrolyte.

Mit Ausnutzung aller bekannten Verbesserungen hat man Apparate bis zu 4 kW bei 75 Proz. Nutzeffekt zu bauen vermocht. Fortschritte sind aber seit etwa 10 Jahren nicht weiter gemacht worden.

Der inzwischen erfundene Quecksilbergleichrichter ist zwar technisch und wirtschaftlich weit leistungsfähiger, doch verwendet man die Aluminiumzellen noch heute zum selbsttätigen Umschalten von Maschinen- und Akkumulatorenstrom (Zugbeleuchtung) und für Überspannungssicherungen.

Auch zu elektrolytischen Kondensatoren hat man die Aluminiumzellen benutzt. Werden nämlich beide Elektroden aus Aluminium gefertigt, so bilden die entstehenden feinen Häutchen das Dielektrikum, und die Metallplatten sind die Belege. Die Spannung des hindurchgehenden Wechselstromes muß dauernd hoch und möglichst konstant gehalten werden. Bei einem gewissen kritischen Spannungsabfall werden die Häutchen durch die lösende Wirkung des Elektrolyten zerstört.

Nach D. R.-P. 231332, 1909, der AEG hat sich eine Mischung bor- und weinsaurer Salze als Elektrolyt besonders bewährt, während jedes Salz für sich sehr bald die Kondensatorwirkung vermindernde Ablagerungen an den Elektroden bewirkt.

Dagobert Timar, Berlin, D. R.-P. 241655, 1910, stellt fest, daß die Wirkung dieser „Flüssigkeitskondensatoren“ gegenüber den gewöhnlichen sehr groß ist, weil die Dicke des Dielektrikums sehr gering ist. Die Vergrößerung der wirksamen Elektrodenflächen erreicht er durch deren grobe Aufrauung, während dies Georges Giles zufolge D. R.-P. 290129, 1915, dadurch erreicht, daß er Aluminiumstücke als Stromleiter anordnet, die mit in Kreisevolventen aufgerollten Belegen verbunden sind.

Vitaliano Colombo, Mailand, hat (D. R.-P. 264551, 1911) seine elektrolytische Zelle so gebaut, daß der Kontakt der Flüssigkeit mit dem wirksamen Häutchen auch nicht durch schwache Gasablagernng verhindert werden kann, und hat (D. R.-P. 274880, 1911) nicht nur

durch schrittweise Formierung der Platten ihre Leistungsfähigkeit gesteigert, sondern sie zugleich auch noch für höhere Erhitzungsgerade als 40°C brauchbar gemacht, indem er zur Formierung höhere Spannungen verwendet als die Betriebsspannung ausmacht, und diese Überformierung von Zeit zu Zeit erneuert.

In ähnlicher Weise erzeugt Mershon, New York, D. R.-P. 262775, 1910, die wirksamen Oxydhäutchen, die er bei mindestens 60°C und überhöhter Spannung sich bilden läßt.

Diesen wissenschaftlich interessanten Elektrolytkondensatoren ist unseres Wissens ein technischer Erfolg bis jetzt versagt geblieben. (Über Theorie und Einzelheiten: Dr.-Ing. Max Jakob, Technisch-physik. Untersuchung der Aluminiumelektrolytzellen; Stuttgart 1906.)

Aluminium in der Röntgen- und Radiotechnik sowie als Material für galvanische Elemente.

Aluminium ist auch ein viel gebrauchtes Metall in der Röntgentechnik. Die Kathoden in Vakuumröhren sind in der Regel aus ihm oder aus Eisen, weil diese Metalle bei Stromdurchgang am wenigsten zerstäuben. Dies hängt damit zusammen, daß der Kathodenfall, d. h. der Spannungsabfall beim Stromübergang in das verdünnte Gas, verhältnismäßig niedrig ist. So wird z. B. nach D. R.-P. 385548, 1911, eine Kathode für Vakuumröhren dadurch gekennzeichnet, daß sie an ihrer wirksamen Stelle aus einem Metall mit niedrigem Kathodenfall (Aluminium) und nur an ihren dauernd unwirksamen Stellen aus Metall mit hohem Kathodenfall besteht.

Einen interessanten Apparat zur Radiotechnik, dessen wesentlicher Teil Aluminium ist, hat die Firma Siemens-Halske A.-G. herausgebracht: den Bändchenlautsprecher. In ihm wird ein Magnet von einem Dauerstrom durchflossen, zwischen dessen Polen ein Aluminiumbändchen von noch nicht $\frac{1}{5}$ mm Dicke, fein gewellt und Teil einer Strombahn, sich befindet. Je nach der Stärke und Richtung des wechselnden Stromes nimmt dieses Bändchen eine wechselnde Stellung ein, es schwingt ähnlich wie die Membran in einem Mikrophon. Aus ihm besteht sowohl das tonerzeugende Organ des Lautsprechers als auch das schallaufnehmende des Lautempfängers. Für Rundfunkübertragungen in Wohnungen ist die gegenwärtige Ausführungsform zwar nicht geeignet. Um so wirkungsvoller gestaltet sich seine Anwendung in großen Hallen und Sälen. Selbst auf weite Entfernungen im Freien ist mit ihm eine deutliche und unverzerrte Wiedergabe von Sprache und Musik möglich.

Daß man Aluminium schließlich auch zur Lösungselektrode eines galvanischen Elementes machen kann, sei der Vollständigkeit halber erwähnt. Der verhältnismäßig hohe Preis macht seine Verwendung zu derartigen Zwecken zurzeit unmöglich.

Aluminium als Überzugsmetall. — Veraluminieren, Kalorisieren, Alitieren.

Obwohl Aluminium als unedles Metall gegen Luftsauerstoff und Wasser nicht vollkommen widerstandsfähig ist, zeigt es sich doch beständiger als z. B. Eisen. Man ist daher nicht müde geworden, ein Verfahren aufzusuchen, das die Veraluminierung anderer Metalle billig und doch zuverlässig gewährleistet.

Das Vernickeln und Verkupfern ist eine längst bekannte und viel geübte Kunst der Galvanotechnik. Ein ähnliches Verfahren gibt es für Aluminium nicht. Bis heute ist es noch nicht gelungen, Aluminium aus wässrigen Lösungen abzuscheiden und die Aussichten, jemals ein solches Verfahren aufzufinden, sind bei der unedlen Natur des Aluminiums auch sehr gering.

Etwas mehr Aussicht auf Erfolg bieten die Methoden des Veraluminierens nach Art des Feuerverzinkens und -verzinnens, obwohl auch hier die Schwierigkeiten, mit der höheren Schmelztemperatur und der Neigung des Aluminiums, Oxydhäute zu bilden, beträchtlich wachsen.

So veraluminiert Jordan, D. R.-P. 244 136, 1911, Eisenblech durch Eintauchen in schmelzflüssiges Aluminium. Das Grundmetall ist vorher sorgfältig mit Alkohol entfettet worden, der so weit mit Wasser verdünnt ist, daß er nicht mehr zündet. Wo sich zwischen den Metallschichten Oxyde befinden, blättert der Überzug ab. Diese Stellen werden nach D. R.-P. 245 136, 1911, mit Metallbürsten gereinigt. Hiernach wird der Überzug auch auf die frei gebliebenen Stellen gewalzt und durch Erhitzen auf 650° C mit dem Grundmetall vereinigt.

Das Eintauchverfahren von Sadamasa Uyeno, D. R.-P. 265 248, 1912, empfiehlt das Bürsten des Grundmetalles mit scharfen Stahlbürsten während des Eintauchens, um so mechanisch sich bildende Oxydhäutchen zu entfernen. Außerdem sollen aber die eisernen Gegenstände feuerverzinkt oder galvanisch verzinkt werden, bevor sie mit Aluminium in Berührung kommen. Bei dieser Behandlung soll sich Aluminium leichter mit dem Eisen legieren, während Zinn größtenteils im Bade zurückbleibt und durch Bleizugabe daraus entfernt werden kann, indem es als Bleizinn zu Boden fällt. Zink soll sich durch Verdampfen entfernen lassen. Es ist wohl klar, daß bei diesem Verfahren eine Zinn- bzw. Zink-Aluminiumlegierung als Überzug entsteht. Das D. R.-P. 298 206, 1915, von Moenen, U. St. A., gießt nach vorheriger mechanischer Reinigung schmelzflüssiges Aluminium einfach über das Eisen. Ein zuverlässiges Festhaften des Überzugs auf dem Grundmetall scheint uns nach diesem Verfahren kaum erreichbar.

Wenig zuverlässig scheint uns auch das Verfahren D. R.-P. 138 873, 1902, zu sein, das einen Aluminiumbronzeüberzug dadurch auf Eisen und Stahl erzeugen will, daß es dünne Aluminium- und Kupferbleche beiderseits auf dem Grundmetall auflegt und die Belege unter mäßiger Erwärmung aufwalzt bzw. einpreßt. Danach wird das Ganze bis zur Schweißtemperatur des Aluminiums erhitzt und nochmals gewalzt. In einem ähnlichen Verfahren sucht die Metallindustrie Schiele & Bruchsaler, früher Hornberg im Schwarzwald, jetzt Rastatt i. Ba., Reinaluminium (Folien) auf vorher aufgerautes Eisenblech durch Wärme und Walzdruck zu verschweißen (D. R.-P. 373 865, 1918 und 318 166, 1918).

Das Veraluminieren durch schmelzflüssiges Metall wird neuerdings wohl mit besserem Erfolg durch feingemahlene, staubförmiges Aluminiumpulver bewirkt. Unter Zusatz von Dekapierungsmitteln aus organischen Stoffen, die wie Kopalwachs und andere verdampfen, bevor der Schmelzpunkt des Aluminiums erreicht ist, stellt Fritsch, Kötzschenbroda bei Dresden, eine Paste aus Aluminiumpulver her (D. R.-P. 282 899, 1911, mit Zusatzpatent 284 067, 1911), der noch Wismut und Mangan als metallische Bindemittel beigegeben sind. Diese Paste schmilzt auf dem erwärmten Grundmetall, löst die Oxyde, bzw. verhindert ihre Entstehung, und ermöglicht bei höherer Erhitzung die Legierung des Aluminiums mit dem Grundmetall. Auch D. R.-P. 285 245, 1912, der AEG will die Veraluminierung von Eisen und Kupfer durch Aluminiumpulver bewirken, dem als chemische Lösungsmittel Salmiak und außerdem etwas Zink oder Graphit beigegeben sind. Der erhaltene Überzug soll vor Säureangriff wirksam schützen.

Eine Reihe untereinander wenig verschiedener Verfahren suchen auf dem Grundmetall dadurch einen wirksamen Schutzüberzug zu erzeugen, daß sie Aluminiumpulver auf irgend eine Weise in dieses einzubrennen suchen. Dabei wird gerade auf die große Oxydationsneigung des feinkörnigen Aluminiums Wert gelegt. Es bildet sich neben einer oberflächlichen Legierung eine fest haftende, widerstandsfähige Oxydschicht. So beschreibt schon das D. R.-P. 76 220, 1894, einen Einbrennlack aus Aluminiumpulver und Teer. Leichter flüchtige Lacke mit einer Mischung von Aluminiumstaub und Puder von Aluminiumoxyd brennt die Metallhütte Baer & Co., Rastatt i. Baden, ihren eisernen Kokillen für Reinaluminiumguß ein (D. R.-P. 313 185, Zusatzpatent 341 289).

Aluminiumstaub wird zufolge D. R.-P. 334 684, 1922, von Kätne, Dresden, auch als Formaluminiumpulver beim Eisenguß in die Sandformen eingestäubt. Er soll ein gutes Ablösen des Gußstückes von der Form ermöglichen.

Das D. R.-P. 312450, 1916, von Lippmann glaubt dadurch die Einbrennschicht verstärken zu können, daß es das ausgebrannte Metall in ein schmelzflüssiges Metallbad taucht und die Aluminiumschicht in der Hitze festwalzt.

Das D. R.-P. 330917 sucht die schwierige und teure Behandlung in der Hitze zu vermeiden. Es beschreibt ein Verfahren, nach welchem man ein Gemisch von hartem Quarzsand und Aluminiumpulver mit Druckluft auf das Grundmetall aufschleudert. Dadurch soll man hauchartige Überzüge erhalten, da die stärker als die Sandkörner gekörnten Aluminiumkörner in die vom Sande gereinigte und fein geritzte Oberfläche eingehämmert werden. Im gedanklichen Zusammenhang mit diesem Patent steht das D. R.-P. 314790 der Metallhütte Baer & Co., die dadurch einen Aluminiumüberzug auf Bleche mit größerer Härte als Aluminium besitzt (Eisen) durch Anschleifen mittels Aluminiumscheiben herbeiführen will. Ein lückenlos deckender Schutzüberzug wird freilich unseres Erachtens durch dieses Verfahren kaum zu erzielen sein.

Viel Aufsehen erregte seinerzeit das 1911 von T. van Allen erfundene und in dem Untersuchungslaboratorium der General Electric Company, Schenectady, New York, entwickelte Verfahren, Gegenstände aus Eisen, Stahl, Kupfer, Nickel und Messing durch Aluminium mit einer gegen korrodierende Einflüsse, auch bei großer Hitze (900°C) wirksamen Schutzschicht zu versehen, das sogenannte „Kalisieren“ (Kalorie, Hitzebeständigmachen!).

Nach diesem Verfahren wird der zu behandelnde Gegenstand zunächst durch Sandstrahlgebläse und Beize von Oxyden, Fett und Schmutz befreit und dann in inerter Wasserstoffatmosphäre bei erhöhter Temperatur mit einer Mischung fein gepulverten Aluminiums und Aluminiumoxyds in innige Berührung gebracht. Die Tiefe der Einwirkung ist dabei wesentlich von der Dauer der Behandlung, der Natur des Grundmetalles und der Zusammensetzung des Aluminium-Tonerdepulvers abhängig. Es bildet sich also eine doppelte Schutzschicht aus, indem sich unter der Oxydschicht eine Legierung von allerdings nur einigen Hundertstel Millimeter Dicke herstellt.

Als eine Fortbildung des Kalisierverfahrens darf man das Verfahren der Alitierung bezeichnen, über das wir bereits auf S. 180 und 181 in anderem Zusammenhang berichtet haben. Es ist allerdings nur für Eisen als Grundmetall verwendbar und besteht gerade in der Erzeugung einer etwa 15proz. Aluminium-Eisenlegierung unter Außerachtlassung der etwa sich bildenden Deckschicht aus Tonerde.

Endlich darf nicht unerwähnt bleiben, daß das Meurersche Metallspritzverfahren, das erst vor wenig Jahren seinen Einzug in

die Metalltechnik gehalten hat, auch auf das Aluminium vielseitige Anwendung finden kann. Metall, Holz, Beton, Stein, Porzellan, Glas, Gips, Pappe, Papier, Leder usw. nach diesem Verfahren mit einer für viele Zwecke völlig ausreichenden Aluminiumhaut zu überziehen, bietet keine übermäßigen Schwierigkeiten.

Dieses Verfahren hat wegen seiner technisch leichten Durchführbarkeit und damit zusammenhängenden Billigkeit überhaupt erst die Frage der Veraluminierung gelöst, denn alle vorerwähnten, in der Patentliteratur beschriebenen Arbeitsweisen haben im allgemeinen eine praktische Bedeutung nicht erringen können, so richtig auch die in ihnen enthaltenen Gedanken sein mögen. Die wertvolle Eigenschaft, von organischen Säuren teils gar nicht, teils nur sehr wenig von kalter Salpetersäure, verdünnter Schwefelsäure und schwefliger Säure kaum angegriffen zu werden, fordert zur Ausnutzung als Metallhaut auch dort heraus, wo seine Anwendung im ganzen zu teuer oder seine Festigkeit doch nicht groß genug wäre, um allein als Konstruktionsmetall Verwendung zu finden. Hier ist das Aluminiumspritzverfahren am Platze. So hat man mit vollem wirtschaftlichen Erfolg die Naßkalt- und Warmaluminierung von Gärbottichen, eisernen Bierfässern, Malztrockenvorrichtungen, Mischgefäßen, Kühlschiffen für Brauereien, Milchtransportkannen, Käsekesseln, Zentrifugen, Kasserollen, Herdkesseln, Haushaltmaschinen, Kontaktanschlußflächen bestimmter Kohlenelektroden für Elektrostahl- und Carbidgefabrikation, gußeisernen Verbrennungshauben, Turbinenschaufeln usw. durchgeführt.

Das Metallspritzverfahren ist auch ein spielend leichter Weg, die auf Gegenstände aufgespritzten Aluminiumüberzüge abwechselnd in mehreren Zwischenschichten auf chemischem Wege in Hydroxyde und Aluminate zu verwandeln, die dann durch geeignete Warmbehandlung und Wasserentziehung in Oxyd übergeführt werden, also gestatten, nach Art des Kalorisierens die schützende Oxydhaut auf außerordentlich vereinfachtem Wege aufzutragen.

Höchst wertvoll ist die Veraluminierung als Untergrund für Verzinkung von eisernen Teilen solcher Konstruktionen, die viel mit Dämpfen der Salpeter- oder schwefligen Säure in Berührung kommen. Kein Rostschutz ist so sicher wie diese Doppelmetallisierung. Für Brücken, Straßenübergänge, die von den heißen Rauchgasen aus Lokomotiven oder Dampfschiffen betroffen werden, ist die Verbindung des $\frac{1}{20}$ mm dicken Aluminium- und Zinküberzuges ein geradezu idealer Schutz. Es liegt auf der Hand, daß dieses Verfahren noch ungeahnte Anwendung in der technischen Großchemie als Ersatz für homogene Verbleiungen, Hartgummiauskleidungen und Emaillierungen finden wird. Große Hoffnungen macht man sich seit der Erfindung des Kalorisierens mit der Spritzaluminierung

eiserner Gegenstände, die unmittelbar der Flammenwirkung ausgesetzt sind. D. R.-P. 372743, 1921, der Meurer A.-G., Berlin, behauptet sogar, daß eine Spritzaluminierung von ganz geringer Dicke genüge, um in Ofenhitze die Bildung von Eisenoxydul, sowie das Festbacken silikatreicher Schlacken zu verhindern und damit die Lebensdauer von Roststäben, Kettenrosten, Rostkörben, Ofenwandungen, Feuerungsdüsen, den Feuerungsgasen ausgesetzten Flächen von Kesseln, Retorten und dergleichen beträchtlich zu erhöhen. Leider trifft diese Ansicht nicht völlig zu. Wie die weiteren Versuche der Meurer-A.-G. gezeigt haben, kann man wohl in einzelnen Fällen eine überraschend große Verlängerung der Lebensdauer aluminierter Roststäbe feststellen. In anderen Fällen haben sich irgendwelche Verbesserungen aber nicht bemerkbar gemacht. Sehr silikatreiches Brennmaterial macht eine Aluminierung zwecklos, da sich gerade derartige Schlackenströme gierig mit der in Aluminiumoxyd verwandelten Oberfläche verbinden. Verhindern könnte man diese schädliche Wirkung vielleicht dadurch, daß man der Kohle, ihrem Silikatgehalt entsprechend, Tonerde beimischt, so daß die entstehende Schlacke von vornherein aus Aluminiumsilikaten besteht. Weitergehende Forschungen werden auch diese wichtige Frage der Feuerungstechnik sicherlich noch zur Lösung bringen. Wo die schädliche Wirkung von flüssigen Silikaten aber wegfällt, da tritt der schützende Einfluß dünner Aluminiumhäute unverkennbar in Erscheinung. Eine Nutzenanwendung davon macht man sich z. B. bei billigen Weißblechgefäßen, die früher dort, wo sie direkt mit dem Feuer in Berührung kamen, ungemein schnell zerstört wurden. Das ist nicht mehr der Fall, seit man die gefährdeten Flächen nach dem Spritzverfahren mit einer dünnen Aluminiumschicht versieht.

Die Spritzaluminierung läßt sich ferner zum Abdichten eiserner Gefäße und solcher aus Messing, Kupfer, Aluminium und dergleichen sehr vorteilhaft verwenden. Bei einem Probestück mit 4 mm Wandstärke und Löchern von 6 mm Durchmesser wurde mit Zink, Messing, Kupfer, Eisen und Aluminium spritzrepariert. Unter Wasserdruck gesetzt, zeigte sich, daß mit Aluminium wie mit Eisen eine vollständig dichte Ausspritzung erreicht worden war, die einen einseitigen Druck von 25 Atm. aushielt, während die anderen Metalle selbst durch Hammerschläge nicht genügend dicht gemacht werden konnten.

Die Ausspritzung von Werkstücken mit Aluminium wird in der Automobilindustrie recht häufig sehr wertvoll sein. Infolge von Gußfehlern undichte Gehäuse, die mit Öl gefüllt werden müssen, lassen sich so leicht brauchbar machen. Auch stark beschädigte Gehäuse können nach diesem Verfahren mit Leichtigkeit ausgebessert

werden. Die angeführten Beispiele mögen genügen, um die un-gemeine Vielseitigkeit in der Anwendung der Spritzaluminierung erkennen zu lehren. Der Metalltechnik ist mit ihr ein Verfahren zugewachsen, dessen praktische Bedeutung nicht leicht überschätzt werden kann.

Aluminiumbronzen als Anstrichfarben usw.

Aluminium in Pulverform findet wegen seiner Hitzebeständigkeit und Schutzwirkung gegen Angriffe der atmosphärischen Feuchtigkeit auch Verwendung bei Anstrichen aller Art. Bekannt ist in dieser Hinsicht die hitzebeständige Ofenbronze, die nicht nur das Aussehen thermisch höher beanspruchter Eisenteile ganz wesentlich verbessert, sondern auch deren Lebensdauer erhöht. Mit hell farbigen Lacken, Harzen und Ölen verrührt, liefert ein besonders fein verteiltes, als Aluminiumbrokat bekanntes Pulver schön metallisch glänzende Anstrichmittel. Mit Teerfarben, die nicht gerade basischer Natur sind, färbt man die hochfeinen Pulver in allen nur erdenklichen Farbtönungen und erhält die viel gebrauchten bunten Emaillackbronzen. Hochfeine Polier- und Leistenbronzen aus fein gepulvertem Aluminium, seinen Legierungen (or de Paris), hochglänzende Lithographie- und Prägebronzen für Buchdruck, als Ersatz für Blattsilber, finden die weiteste Verbreitung.

Aluminium und seine Legierungen in der Feuerwerkerei.

Fein gepulvertes Aluminium ist ferner ein viel gebrauchter Hilfsstoff des Pyrotechnikers. Die energiebeladene Natur des Aluminiums kommt begreiflicherweise als Metallstaub ganz besonders zur Geltung. Trockener Aluminiumpyroschliff ist, wie wir früher erwähnten, sehr explosibel. Ohne selbst Sprengstoff zu sein — das entstehende Aluminiumoxyd nimmt nicht Gasform an wie die eigentlichen Sprengstoffe, sondern wird nur flüssig —, vermag es doch durch plötzliche Erwärmung eines abgeschlossenen Luft-raumes auf mehr als 2500°C sprengend zu wirken. Dazu kommt noch, daß erwärmtes Aluminium in feiner Zerkleinerung Wasser in seine Bestandteile zu zerlegen vermag, so daß die rein thermische Wirkung des Aluminiums durch Knallgasbildung gesteigert wird.

Aluminium ist ein sehr energisches Reduktionsmittel. Es reduziert, wie wir schon S. 144 ff. ausführten, außer Magnesium- und Calciumoxyd, alle Metalloxyde. Seine Verbrennungswärme über-trifft die der anderen Elemente außer der des Magnesiums und Calciums. Folgende, von Goldschmidt aufgestellte und den Tabellen von Landolt und Börnstein entnommene Zahlenreihe zeigt dies:

Verbrennungswärmen, bezogen auf

		g/cal	Gramm- molekül	die gleiche Menge Sauerstoff
H	zu H ₂ O . . .	34 553 (Joule)	69 106	69 106
C	„ CO ₂ . . .	7 859 (Berthelot)	94 308	47 154
Al	„ Al ₂ O ₃ . . .	7 140 (Strauss)	387 000	129 000 !
Mg	„ MgO . . .	6 010 (Rogers)	146 160	146 160 !
P	„ P ₂ O ₅ . . .	5 747 (Andrews)	356 780	71 356
Na	„ Na ₂ O . . .	3 293 (Woods)	151 480	151 480 !
Ca	„ CaO . . .	3 284 (Thomsen)	131 590	131 590
S	„ SO ₂ . . .	2 165 (Berthelot)	69 430	34 715
Fe	„ FeO . . .	1 352 (Favreu.Silvermann)	75 500	75 500
Zn	„ ZnO . . .	1 291 „ „ „	84 394	84 394
Cu	„ CuO . . .	593 (Joule)	37 697	37 697
Sn	„ SnO . . .	573 (Andrews)	68 190	68 190
Pb	„ PbO . . .	243 (Thomsen)	50 326	50 326
Si	„ SiO ₂ . . .	5 247 „	148 500	74 250

Bei der großen Reaktionsfähigkeit des gepulverten Aluminiums sind gewisse Reduktionen mit Hilfe dieses Metalles nicht ganz ungefährlich. So explodiert z. B. ein Gemisch von Aluminiumstaub und Natriumsuperoxyd bei Gegenwart von einer Spur Feuchtigkeit schon beim Verreiben. Ein nach quantitativen Verhältnissen hergestelltes Gemisch von Kupferoxyd und Aluminium ($3 \text{ CuO} + 2 \text{ Al} = 3 \text{ Cu} + \text{Al}_2\text{O}_3$) reagiert schon über der Bunsenflamme, wenn die Entzündungstemperatur erreicht ist, plötzlich und explosionsartig. Auch Bleioxyd-Aluminiummischung explodiert sehr energisch unter heftiger Detonation. Es sind im allgemeinen die Metalle mit niedrigem Schmelzpunkt und geringer spezifischer Wärme, die ein solches Verhalten zeigen. Sie bilden die Grundlage der aluminiumhaltigen Spezialsprengstoffe. Bei diesen sind die Gemenge beliebiger Metalloxyde mit Aluminiumpulver nur Zusätze zu den eigentlichen Sprengstoffgemischen, die lediglich die Wärme steigern und damit die Sprengwirkung erhöhen. Es ist das von Dr. Hans Goldschmidt 1897 als Thermitprozeß eingeführte Verfahren der Reduktion von Metalloxyden durch Aluminium, das hier auf pyrotechnische Probleme angewendet wird.

Eine Verwendung aluminothermischer Gemische fand während des Krieges mit ausgezeichnetem Erfolge in der Sprengtechnik und Feuerwerkerei des Heeres statt. So sei an dieser Stelle die Goldschmidtsche Fliegerbrandbombe genannt, die außer einem Brennstoffbehälter mit leicht entzündlichen Kohlenwasserstoffen ein Thermitgemisch enthielt, das durch Schlag entzündet, den Behälter

rasch anschmolz und mit Sicherheit den ausfließenden Brennstoff zur Explosion brachte.

Gleichfalls an allen Fronten gebraucht wurden die Leuchtpatronen desselben Erfinders, in denen Leuchtsätze wie 20 Proz. Aluminium, 65 Proz. Bariumnitrat, 12,5 Proz. Schwefel und 2,5 Proz. Harz benutzt wurden. Durch Zusatz von Magnesium, Zink usw. wurde die Entzündlichkeit beliebig gesteigert.

Aluminiumpulver verwendet man aber auch für friedliche Zwecke, zur Erzielung gewisser Funkeneffekte. So erzeugt man die sogenannten Aluminiumwunderkerzen, indem man Draht in eine breiige Masse von Aluminiumpulver, Dextrin, Feilspänen und Nitraten eintaucht und trocknet. Neuerdings wird diese Kerze unter Zuführung von trockener Masse und Draht automatisch in einer eigens dazu gebauten Maschine fix und fertig hergestellt (Gekawerk, Dr. Gottl. Krebs, Offenbach a. M.).

So ist seit mehr als 20 Jahren das Aluminiumblitzlicht, ein Gemisch aus gleichen Teilen Aluminiumpulver und Kaliumchlorat, bekannt. Aluminium verleiht den Feuerwerkssätzen ein glänzend weißes Licht, das dem Magnesium zwar etwas nachsteht, dafür aber nur den dritten bis vierten Teil kostet (Schnauss, Die Blitzlichtphotographie; Düsseldorf 1902).

Ein eigenartiges Sprengmittel, im Kriege viel zu Granatenfüllungen gebraucht, ist das Ammonal. Es ist im wesentlichen ein Gemisch äquivalenter Mengen von Ammonsalpeter und Aluminium ($2\text{Al} + 3\text{NH}_2\text{NO}_3 = 3\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3$). An den Goldschmidtschen Thermitprozeß erinnernd, kann man gleichwohl nicht von einem solchen sprechen, weil die Zersetzung des Salpeters weit unter der Temperatur erfolgt, bei der sich das Aluminium oxydiert. Wahrscheinlich reagiert Aluminium erst mit den Produkten der Detonation: $3\text{CO}_2 + 2\text{Al} = 3\text{CO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + 180,7\text{Cal}$. Das Ammonal wurde bereits 1899 von Escales (B. P. 146599, 1899, E. P. 24377, 1899) und unabhängig davon, von G. Roth (G. Roth A.-G., Felixdorf bei Wien) erfunden. Anfänglich bestand es aus 72 Proz. Ammonsalpeter, 25 Proz. Aluminium und 3 Proz. Kohle. Zur Erhöhung der Detonationsfähigkeit machte man später weitere Zusätze wie Trinitrotoluol, wodurch die schädliche Hygroskopizität beträchtlich vermindert werden konnte, da sich die so geänderte Sprengmasse stärker pressen läßt. Die Granatenfüllung mit Ammonal erwies sich im Kriege nach Stoßkraft und Brisanz bedeutend wirkungsvoller wie andere Füllungen. Die Sprengmasse bestand aus 35 bis 75 Proz. Ammonsalpeter, 10 bis 28 Proz. Aluminiumgrieß (oder noch besser Aluminiumwolle = feine Aluminiumspäne), 12 bis 40 Proz. Trinitrotoluol, 0 bis 3 Proz. Kohle. Der Reinaluminiumgrieß, der

leicht oxydiert und dann unwirksam ist, wird neuerdings zweckmäßig durch gepulverte Aluminium-Zinklegierung ersetzt.

Ein neueres aluminiumhaltiges Sprengmittel für Kohlenbergbau stellt das Anagon der Köln-Rottweiler Sprengstoffabrik dar. Es besteht aus 78,5 Proz. Ammonsalpeter, 17,5 Proz. Kalisalpeter, 2,5 Proz. verharztem Leinöl, 1 Proz. Aluminium und 0,5 Proz. Bariumnitrat. Die geringen Mengen Aluminium müssen, um genügend wirkungsvoll zu sein, äußerst fein pulverisiert werden; das sonst übliche Brokat ist noch zu grobkörnig. Der geringe Korngrad bedingt aber eine große Oxydationsneigung. Die Lagerbeständigkeit des Anagons ist daher sehr gering. Diesem Sprengstoff verwandt sind Helagon und Perlagon mit 4 bis 6 Proz. Zink-Aluminium. Aluminiumpulver verwendet man weiter als Zusatz zu Nebel- und Eisenbahnknallsignalen, das sind Zelluloiddosen mit Barium- oder Kaliumnitrat, auch Kaliumchlorat und einer Schwefelantimonmischung. Zusatzmetall ist es auch zuweilen bei Sprengarbeiten mit flüssiger Luft. Bei den Perchloratsprengstoffen und einer Reihe von Zündmitteln ist es gleichfalls ein wichtiger Bestandteil. Es würde jedoch zu weit führen, alle die Zünd- und Sprengsätze zu nennen, in denen es mit Erfolg zur Anwendung gekommen ist (vgl. Kast, Spreng- und Zündstoffe; Verlag Friedr. Vieweg & Sohn Akt.-Ges., Braunschweig).

Aluminothermie für Zwecke der Metalltechnik.

Die energiebeladene Natur des Aluminiums wird aber nicht nur für Zwecke der Feuerwerkerei verwertet, sie ist vielmehr auch in der Aluminothermie von Dr. Hans Goldschmidt für die Metalltechnik von größter Bedeutung geworden. Ihre noch immer wachsende Anwendungsmöglichkeit kennzeichnet sie als Erfindung ersten Ranges. Wir können es heute nicht mehr verstehen, daß das grundlegende Patent 96317 seinerzeit vom Reichspatentamt anfänglich zurückgewiesen worden ist. Denn wenn auch die thermochemischen Eigenschaften des Aluminiums schon vor der Goldschmidtschen Erfindung bekannt waren, so sind doch erst durch sie die Bedingungen für ihre sichere gefahrlose Ausnutzung geschaffen worden. Zwei Aufgaben sind es besonders, die dem Thermitprozeß zufallen: 1. die Gewinnung schwer reduzierbarer, kohlenstofffreier Metalle, wie Molybdän, Vanadium, Wolfram, Chrom, Mangan, Titan, Silicium, und schwerer schmelzbarer Legierungen, wie Eisenwolfram, Siliciumeisen, Titaneisen, und 2. das Schweißen von Eisenteilen. Nach Goldschmidt werden die zu reduzierenden Metalloxyde mit Aluminiumpulver nach Äquivalentverhältnissen so gemengt, daß der in den Oxyden enthaltene Sauerstoff gerade

ausreicht, um mit dem Aluminium Aluminiumoxyd zu bilden. Trotz der größten Legierungsfähigkeit des Aluminiums können so die zu gewinnenden Metalle fast vollkommen rein gewonnen werden.

Große Bedeutung hat vor allem die Reindarstellung von Chrom und Mangan erlangt, die selbst nicht im elektrischen Ofen möglich ist. Sie gestattet die Erzeugung wertvollster Legierungen dieser Elemente mit Eisen, Kupfer und anderen Metallen. Der nicht rostende Nickelchromstahl könnte z. B. ohne kohlenstoffreies Chrom gar nicht hergestellt werden.

Die Ausführung des Verfahrens ist sehr einfach. Die Mischung des grobkörnigen Aluminiumpulvers (Korndurchmesser 1 mm) mit dem zu reduzierenden Metalloxyd wird in einem entsprechenden Tiegel (meistens aus Magnesia oder Korund mit Wasserglas, D. R.-P. 179390) an einer Stelle entzündet, worauf sich die Reaktion durch die ganze Masse fortpflanzt. Die Entzündung geschieht zweckmäßig mit einer sogenannten Zündkirsche aus Bariumsperoxyd und Aluminium nach der Formel: $3 \text{BaO}_2 + \text{Al}_2 = 3 \text{BaO} + \text{Al}_2\text{O}_3$, zuzüglich eines leicht brennbaren Bindemittels wie Schellack. Vielfach genügt aber schon ein Sturmstreichholz. Durch die Reaktion kommt die ganze Masse ins Schmelzen. Das entstandene Metall sinkt zu Boden, während die dünnflüssige Tonerde nach oben steigt. Die Analyse eines nach dem Goldschmidtschen Verfahren hergestellten Chrommusters ergab

98,65 Proz. Chrom, 0,8 Proz. Eisen, 0,3 Proz. Silicium.

Die Tonerdeschlacke bestand aus

82,5 Proz. Tonerde, 8 Proz. Chrommetall, 2,5 Proz. Kieselsäure.

Das metallische Chrom war in der Schlacke in Form kleiner Kugeln enthalten.

Bei der aluminothermischen Gewinnung des Mangans muß zufolge U. S.-P. 860799, 1907 (Goldschmidt-Weil) das zu reduzierende Gemisch mehr Sauerstoff enthalten, als der Formel Mn_3O_4 entspricht. Die besten Ergebnisse werden erhalten, wenn das Gemisch aus 73 Proz. Mn_3O_4 , 5 Proz. MnO_2 und 22 Proz. Aluminium besteht.

Das als Nebenprodukt bei der Metalldarstellung gewonnene Aluminiumoxyd ist außerordentlich hart. Es gleicht völlig dem Schmirgel, der natürlich vorkommenden kristallisierten Tonerde. Wie dieser kann das künstliche Produkt zum Schleifen benutzt werden. Besonders geeignet soll hierzu das bei der aluminothermischen Gewinnung des Zinks nach D. R.-P. 319814 abfallende Aluminiumoxyd sein.

Nach D. R.-P. 192015 stellt man für Schweißzwecke auch ein Calcium-Aluminium-Siliciumthermit her, bei dem die Metallpulver so gemischt sind, daß die leicht schmelzende Schlacke $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$ entstehen kann. Die etwas geringere Reaktionswärme dieser Mischung wird durch die günstigere Schlackenbildung aufgewogen.

Auch die zweite Hauptaufgabe der Aluminothermie ist bereits durch den Erfinder selbst auf das glänzendste gelöst worden. Das Goldschmidtsche Schweißverfahren hat sich seit Jahrzehnten beim Verschweißen von Schienen- und Rohrstücken, beim Ausbessern beschädigter Maschinenteile am Arbeitsplatze, beim Angießen abgebrochener Schraubenteile usw. gleich am Schiffskörper und in vielen anderen Fällen bewährt. Um Eisen- und Stahlteile aluminothermisch zusammenzuschweißen, umgibt man sie mit geeigneten Formen und stellt einen Tiegel mit Thermit darüber. Das im Tiegel geschmolzene Thermit wird erst nach seiner völligen Verflüssigung durch ein Stichloch in die Form gegossen. Man verwendet ein Gemisch, das der Formel genügt: $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{Al} = \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{Fe}$. Die Reaktionsmasse erhitzt sich weit über die Schmelztemperatur des Eisens. Man hat mit Hilfe des Wannerschen Pyrometers eine Reaktionstemperatur von 2500°C festgestellt. Diese im engsten Raume zusammengeballte Energie reicht aber aus, um auch die zu verschweißenden Eisenstücke an der Nahtstelle so weit zu erweichen, daß ein Ineinanderfließen der Schweißränder erfolgen kann. Aluminothermische Schweißungen sind sehr fest und zäh, da sprödemachender Kohlenstoff während der Schmelze nicht hinzukommen kann. Den Schweißprozeß kann man auch unter Umständen noch durch geeignete Zusätze zum Thermit verbessern. So fügt man z. B. geringe Mengen ($\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{16}$ Proz.) Titanoxyd zu. Es entsteht freies Titan, das in statu nascendi schädliche Gase, wie Stickstoff, aus dem Metallfluß entfernt bzw. sich mit dem Eisen legiert. Dadurch wird die Schweißnaht nicht nur blasenfrei, sondern zugleich auch feinkörnig und zäh. Zur Aluminothermie verwendet man zuweilen Legierungen des Aluminiums mit Magnesium, Calcium, Strontium, Barium, Lithium und Silicium, z. B. 40 Proz. Mg + 60 Proz. Al oder 28,4 Proz. Al + 42 Proz. Ca + 29,5 Proz. Si, Reaktionsmassen, die zum Teil größere Wärmemengen entwickeln als Aluminium selbst. Allein vermag jedoch keines der genannten Metalle thermitartige Reaktionen hervorzubringen, da ihre Umsetzungsgeschwindigkeit zu gering ist. Immer muß ein größerer Prozentsatz Aluminium zugegen sein. Man kann statt des Aluminiumpulvers auch Aluminiumcarbid verwenden und dadurch ein thermitartiges Produkt erhalten, das aus Oxyden und Sulfiden die darin enthaltenen Metalle oder Metalloide für sich oder in Legierungen

zu gewinnen gestattet (vgl. D. R.-P. 113037 und 145820). Die zu reduzierenden Oxyde reagieren, wie wir schon dargelegt haben, je nach Herstellungsart, Reinheitsgrad, Sauerstoffgehalt, Schmelzpunkt und spezifischer Wärme träge oder lebhaft bis zur explosiven Heftigkeit. Diese Vielseitigkeit in der Reaktionsweise benutzt man neuerdings zur Herstellung metallothermischer Massen, das sind leicht entzündliche Stoffe von genau bestimm- und regulierbarem Wärmegehalt, der bequem und sicher gehandhabt und völlig ausgenutzt werden kann. Man erhält diese Massen durch Vermengung fein gemahlener Metalle (Aluminium) mit Sauerstoff- oder Schwefelträgern in äquivalenten Mengen, Fixierung der Massen durch ein Bindemittel, Trocknung und abermalige Körnung, so daß in jedem Korn alle zur Reaktion nötigen Stoffe beisammen sind. Als „Moxbriketts“ werden derartige Heizpatronen durch die Citothermgesellschaft m. b. H. in den Handel gebracht. Die normalen Patronen sind von Taschenuhrgröße; 15 ccm enthalten 35000 g/cal Energie in konzentriertester Form und werden in 6 Sekunden wirksam.

Aluminium und seine Legierungen in der Metallurgie.

Die Aluminothermie spielt auch eine wichtige Rolle in der Metallurgie. Bei Eisen- und Stahlgüssen gibt man zuweilen kleine Mengen Thermit zu, wenn die Schmelze kräftig erhitzt werden soll. Man spricht dann geradezu von Lunkerthermit, da er die Schmelze dünnflüssig macht und das Aufsteigen von Schlacken und Gas erleichtert. Man erzeugt auch aluminothermisch Vorlegierungen des Eisens mit schwer schmelzbaren Elementen, wie Titan, Mangan und Nickel, wenn man Spezialstähle mit Hilfe dieser Metalle erzeugen will.

Statt des Thermits verwendet man aber viel häufiger das Aluminium allein, das in der Metallurgie als Reinmetall sogar ein Hauptverwendungsgebiet gefunden hat. Es soll im Bade schmelzen und den darin gelösten Sauerstoff unter Bildung von Tonerde ausstoßen. Beim Umschmelzen von Eisen und Stahl bildet sich nämlich durch die oxydierende Wirkung der Luft Eisenoxydul, das zum Teil im Metall gelöst bleibt. Außerdem absorbiert es Stickstoff, der beim Erstarren nur unvollkommen entweichen kann und das Gußstück porös macht. Aluminium in geringen Prozentsätzen zugesetzt, läßt den Guß vollkommen blasenfrei werden. Schon ganz geringe Zusätze sind von bedeutender Wirkung. Nach Langley soll, je nach der Natur des zu raffinierenden Metalles, Aluminium in folgenden Mengen zugesetzt werden:

0,016 bis 0,030 Proz. bei Martinsstahl mit 0,5 Proz. Kohlenstoff,
 0,020 „ 0,050 „ „ Bessemerstahl mit 0,5 Proz. Kohlenstoff.
 0,011 „ 0,025 „ „ „ „ „ mehr als 0,5 Proz. Kohlenstoff

Die Aluminium-A.-G. Neuhausen hat zur Raffination folgende Prozentsätze vorgeschlagen:

für Stahl	0,004	bis	0,025	Proz.	Aluminium		
„ weichen Stahl	0,01	„	0,1	„	„	„	„
„ Gußeisen	0,2			„	„	„	„
„ Kupfer	0,1	„	0,25	„	„	„	„
„ Messing	0,1	„	0,5	„	„	„	„
„ Nickel	0,027	„	0,09	„	„	„	„

Nach Keep soll der Einfluß des Aluminiums auf geschmolzenes Eisen auch darauf beruhen, daß es den chemisch gebundenen Kohlenstoff in Graphit umwandelt und ihn in eigentümlicher Weise hindert, sich in Blasen anzuheften.

Wie bei Eisen und Stahl, so wird Aluminium auch bei Nickel, Kupfer und zahlreichen Legierungen als Desoxydationsmittel verwendet. Auch in der Verzinkerei leistet es wertvolle Dienste, indem es bis zu 4 Proz. der Zinkschmelze zugesetzt, diese dünnflüssig macht und die Herstellung glatter Bleche ermöglicht. Bornemann und Schmidt, Breslau, empfehlen nach D. R.-P. 388833, 1920, Aluminium auch als Mittel zur Enteisung von Hartzink. Nach diesem Verfahren setzt man der hinreichend erhitzten Schmelze Aluminium zu. Die sich abscheidenden Eisen-Aluminiumkristalle entfernt man schließlich mechanisch. Zur Desoxydation und Entschwefelung von schmelzflüssigen Metallen empfiehlt die Metallbank und Metallurgische Gesellschaft, Frankfurt a. M., endlich auch eine Mischung von Calciumcarbid und Aluminium (D. R.-P. 359781, 1922).

Aluminiumpulver als Reduktionsmittel.

Die große Affinität des Aluminiums zu Sauerstoff, die in der Sprengtechnik der Aluminothermie und Metallurgie zu merkwürdigen und technisch höchst wertvollen Anwendungen geführt hat, befähigt das eigenartige Metall unter gewissen Voraussetzungen auch zu Reduktionen in wässrigen Lösungen. So ist es möglich, mit Hilfe von Aluminium Wasser zu zersetzen. Die Reaktion folgt dabei der Formel: $2 \text{Al} + 6 \text{H}_2\text{O} = 2 \text{Al}(\text{OH})_3 + 3 \text{H}_2$. Man kann danach Aluminium zur Gewinnung von Wasserstoff aus Wasser benutzen. Allerdings erfolgt die Zersetzung nicht bei gewöhnlicher Temperatur ohne Zuhilfenahme von chemischen Zwischenreaktionen. Eine solche tritt bei Zusatz von Alkalilauge ein, und zwar unter so starker Erwärmung, daß gekühlt werden muß. ($\text{Al} + 3 \text{Na}(\text{OH})_3 = \text{Na}_3\text{AlO}_3 + 3 \text{H}_2$.) Technische Anwendung fand das Verfahren 1904 durch die Russen im Kriege gegen Japan.

Eine andere Methode der Wasserstoffentwicklung empfiehlt der Japaner Sadamasa Uyeno, Tokio, in seinem D. R.-P. 259530, 1912.

Danach wird eine Aluminiumlegierung aus 78 bis 98 Proz. Aluminium, 1,5 bis 15 Proz. Zink und 0,5 bis 7 Proz. Zinn hergestellt, ein Zinkamalgame erzeugt und dieses auf die Aluminiumlegierung aufgerieben, die durch Erwärmung gleichfalls amalgamiert wird. In Wasser getaucht, soll das Präparat stürmisch Wasserstoff entwickeln. Nach dem F. P. 392725 von Manricheau, Beaupréau, wird Aluminium durch Quecksilberchlorid und Kaliumcyanid „aktiviert“, und die Chemische Fabrik Griesheim sucht die Wasserstoffentwicklung für Kriegszwecke zum Füllen von Luftballons dadurch zu beschleunigen, daß sie nach D. R.-P. 229162 dem Wasser 1 Proz. Quecksilber und Natronlauge zusetzt. Die Wasserstoffentwicklung läßt sich nach D. R.-P. 294910 noch beträchtlich steigern, wenn man die Aktivierung bei erhöhter Temperatur vornimmt. Wirtschaftliche Bedeutung haben diese Methoden nicht erlangen können, da die Wasserstoffentwicklung mit bequemeren und billigeren Arbeitsweisen durchgeführt wird.

Ein gewisses analytisches Interesse besitzt ferner die Tatsache, daß Aluminiumpulver (gleich einigen anderen Metallen) in alkalischer Lösung Nitrate und Nitrite bis zum Hydroxylamin und Ammoniak zu reduzieren vermag, dessen Vorhandensein dann leicht nachzuweisen ist. Viel gebraucht ist für diese Zwecke die Devardasche Legierung, ein chemisch sehr leicht angreifbares Metall aus Aluminium, Kupfer und Zink. Besonders wertvoll als Reduktionsmittel wird Aluminium durch den Umstand, daß es durch naszierenden Wasserstoff sich sogar in neutraler Lösung zu betätigen vermag (H. Wislicenus und L. Kaufmann, Chem. Ber. 1894). Man verwendet zweckmäßig Aluminiumdrehspäne, die man mit Natronlauge entfettet, abspült, in $\frac{1}{2}$ proz. Sublimatlösung taucht, mit Wasser, Äther und Alkohol reinigt und unter Petroläther aufbewahrt. Dadurch wird Aluminium oberflächlich amalgamiert. Das Präparat wird zur Hydrierung ungesättigter Kohlenstoffkerne, wie Resorcin und Phloroglucin, ferner zur Reduktion von Ketonen und Lactonen, von Säuren der Zuckergruppe, von Diazoverbindungen usw. empfohlen.

Im Äther und Alkohol zersetzt es die letzten Spuren Wasser. Ja „aktiviertes“ Aluminium wirkt sogar auf absoluten Alkohol unter Bildung eines Aluminiumäthylats [ungefähr $\text{Al}_2(\text{OC}_2\text{H}_5)_4\text{O}$]. In Xylol gelöst, ist dieses ein höchst empfindliches Reagens auf Wasser, indem z. B. aus Alkohol mit nur 0,05 Proz. Wasser bei seiner Zugabe schon sichtbare Mengen von $\text{Al}(\text{OH})_3$ gefällt werden.

Eigentümliche organische Verbindungen, sogenannte Aluminium-trialkylätherate, erhält man nach Erich Krause und Bruno Wendt (Chem. Ber. 56, 466), wenn man metallisches Aluminium auf Quecksilberalkyle wirken läßt und die erhaltenen Aluminium-

trialkyle durch Einwirkung von Halogenalkylen in Ätherate umsetzt von der Zusammensetzung: $4 R_3Al + 3 C_2H_5O$, die bereits an der Luft unter starker Rauchentwicklung zerlegt werden und mit Wasser explosionsartig zerfallen. Bei Ausschluß von Feuchtigkeit sind sie aber merkwürdig beständig. Man kann sie trotz ihres verhältnismäßig hohen Siedepunktes, der 20 bis 25°C höher als der der ätherfreien Aluminiumtrialkyle liegt, bei gewöhnlichem und vermindertem Druck destillieren, so daß man annehmen muß, daß diese komplexen Verbindungen auch in Gasform bestehen können.

Durch Quecksilberverbindungen „aktiviertes“ Aluminium oxydiert, wie schon früher erwähnt, zu äußerst feinkörnigem, schwammigem Tonerdehydrat, das nach scharfem Glühen als wasserfreie Tonerde die wertvolle Eigenschaft besitzt, Farb- und Gerbstoffe in sich festzuhalten. Es hat zum Entfärben von Flüssigkeiten organischer Natur, sowie als Ersatz für das sogenannte Hautpulver bei der Gerbstoffanalyse Verwendung gefunden.

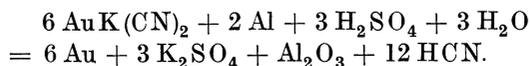
Aluminium in Pulverform erweist sich auch für gewisse chemische Prozesse brauchbar, bei denen edlere Metalle, als Aluminium selbst ist, zur Abscheidung aus ihren Verbindungen gebracht werden sollen. So kann man nach D. R.-P. 74532, 1893, die Fällung von Gold aus seiner Cyanidlösung durch Aluminium bewirken. Die reagierenden Stoffe müssen dabei nach folgenden Gleichungen gemischt werden:

1.
$$6 AuK(CN)_2 + K(OH) + 2 Al + 3 H_2O$$

$$= 6 Au + 6 KCN + 6 HCN + 6 K(OH) + Al_2O_3.$$
2.
$$6 Au + 6 KCN + 6 HCN + 6 K(OH) + Al_2O_3$$

$$= 6 Au + 12 KCN + 6 H_2O + Al_2O_3.$$

Nach D. R.-P. 77393 kann man auch so verfahren, daß die Umsetzung folgender Gleichung genügt:



Hier erfolgt die unmittelbare Regenerierung des Lösungsmittels durch Aluminium zwar nicht. Setzt man aber der zurückbleibenden Lösung ein freies Alkali oder Erdalkali (Kalk!) zu, so verbindet sich dieses mit der entstandenen Blausäure zu Cyanid, das eine neue Menge Gold aus dem Erz zu lösen vermag.

Aluminium als elektrolytisches Reinigungsmittel.

Nach D. R.-P. 267017, 1912, kann man Aluminiumpulver auch zur Oberflächenreinigung von Gegenständen aus Silber und anderen Metallen, edler als Aluminium (Nickel, Zinn, Gold usw.), mit Vorteil verwenden. Die Reinigung erfolgt durch naszierenden Wasserstoff, der die Oxyde und Sulfide dieser Metalle reduziert. Das Verfahren

ist dadurch gekennzeichnet, daß der zu reinigende Gegenstand in eine wässrige alkalische Lösung, die das positiv elektrische Metall (Aluminium) in Pulverform enthält, getaucht wird. Das Reinigungsmittel, z. B. gepulvertes trockenes Alkali und 1 g Aluminium, kann mit Paraffin, Kolophonium oder anderen neutralen Stoffen so umhüllt werden, daß die beiden Pulver nicht vor Gebrauch aufeinander zu reagieren vermögen. Durch Glycerin kann man das Reinigungsmittel in Pastenform bringen.

Noch besser soll die Reinigung unter Mitwirkung des elektrischen Stromes gelingen, der entsteht, wenn man eine Aluminiumplatte in alkalischer Lösung zur positiven, den zu reinigenden Gegenstand zur negativen Elektrode macht. Nach D. R.-P. 271548, 1912 (Kohler, Brüssel), nimmt man statt des Reinaluminiums besser eine Legierung aus 98 Proz. Aluminium und 2 Proz. Zinn, da eine solche auch bei längerem Gebrauch weiß bleibt, während sich bei Reinaluminium allmählich dunkle Abscheidungen bilden, die seine Wirksamkeit rasch herabsetzen. Reinigend wirkt wiederum der entstehende Wasserstoff, der an der Kathode aufperlt, die Oxyde und Sulfide auflöst und die sonstigen aufgelockerten Schmutzteilchen wegschwemmt.

Aluminium ist endlich auch ein wichtiges Hilfsmetall bei den elektrolytischen Reinigungsprozessen von Zink und Cadmium. So verwendet z. B. die Erzbereitungsgesellschaft m. b. H., Weißweiler (Rheinland), Aluminium bei der elektrolytischen Darstellung des Zinks aus schwefelsaurer Lösung als Kathode, ein Verfahren, das bereits bei größeren Anlagen in Amerika, Kanada, Australien und Tasmanien zur Anwendung gekommen ist. Gleichfalls eine Aluminiumkathode verwendet die U. S. Smelting Refining and Mining Company zu Kenneth, Kalifornien, zur Reindarstellung von Elektrolytcadmium aus saurer Lösung.

Schluß.

Die Aluminiumforschung in Nordamerika.

Probleme der Aluminiumforschung.

„Aluminium ist das jüngste Industriemetall, es ist zugleich das wirtschaftlich zukunftsreichste, das wissenschaftlich und technisch interessanteste.“ So schrieben wir am Anfang unserer Darlegungen. Unsere Ausführungen, die nur Tatsachen sprechen lassen, haben diese Behauptung, so hoffen wir, in überzeugender Weise bewiesen.

Wer ist nicht überrascht und innerlich überwältigt von der Vielseitigkeit dieses merkwürdigen Metalles! Auf Schwingen aus Aluminium erhebt sich der Mensch kühn in den blauen Äther und Kolben aus Aluminium stampfen in seiner Maschine dazu ihm den Takt. In majestätischem Fluge überquert Deutschlands stolzester

Zeppelin den Atlantischen Ozean und Rippen und Sparren aus Aluminium geben seinem riesigen Körper innerlich Stütze und Halt. Vielleicht sind es Flammenzeichen aus brennendem Aluminiumpulver, die ihn am fernen Gestade begrüßen. Auf Rädern aus Aluminium rollen schwere Omnibusse durch die Straßen der englischen Hauptstadt und auf westfälischer Erde rufen Glocken aus Aluminium die Gläubigen mit melodischem Klange zur Kirche. In der Aluminothermie offenbart es seine gesammelte Kraft und, zu dünnen Drähten gezogen, leitet es sicher den elektrischen Strom. Als zarte, silbrige Hülle umknistert es schützend das würzige Marzipan, die leckere Schokolade, das Päckchen aromatisch duftender Zigaretten, und als massiger Block läutert es den flüssigen Stahl.

Wo ist der Zweig des gewerblichen Lebens, wo das Gebiet der Technik, auf dem nicht dieses wundervolle Element seinen hohen Nutzwert erwiesen hätte? Wenn man Tote erwecken könnte: Was würden Oerstedt und Wöhler zu dem breiten Strome sagen, der mit seinen silbernen Fluten die steinigsten Äcker technischer Mühsal befruchtet, zu dem Strome, der sich ihrem heißen Forscherdrange nur in kümmerlichen Tropfen erschlossen hatte?

Aber wer selbst nicht mit eigenen Augen sehen will, wer sich nicht selbst die Mühe nehmen kann oder mag, an den Problemen der Aluminiumforschung nachdenklich mitzuarbeiten, wer sich nicht selbst ein eigenes Urteil von den großen Zukunftsmöglichkeiten bilden zu können glaubt, die sich dem Kundigen im und am Aluminium immer mehr offenbaren, der beachte wenigstens vom Standpunkt der Wirtschaft aus das geschäftige Treiben fremder Völker auf allen Gebieten der Aluminiumgewinnung, -erforschung und -verarbeitung.

In einem früheren Kapitel dieses Buches (S. 33 ff) haben wir gezeigt, wie allüberall gewaltige Summen in Aluminiumunternehmungen festgelegt werden, Kapitalien, wie sie nur dort sich zusammenballen, wo man kommenden Entwicklungen mit größtem Optimismus entgegensieht.

Erinnert sei an das Vorgehen der nordamerikanischen Aluminiumindustrie. Nicht nur, daß mehr als die Hälfte der Weltproduktion schon heute auf ihr Konto zu setzen ist und ihre Fabrikanlagen ständig vergrößert werden, nicht nur, daß die Bauxitgruben des eigenen Landes immer intensiver ausgebeutet werden, nein, überall in der Welt, wo Aluminiuminteressen bestehen, ist amerikanisches Kapital beteiligt. Es wirkt mit in den Erzgruben Osteuropas und schleppt den wichtigen Rohstoff aus Britisch-Guayana auf den heimischen Markt, es beteiligt sich an der Entwicklung der norwegischen Aluminiumindustrie und sucht sich, durch Mitgründung von Aluminiumgesellschaften im fernen Japan, maß-

gebenden Einfluß auch in der kommenden asiatischen Aluminiumindustrie zu sichern. Ein Volk, dem business über alles geht, ein Volk, das nüchtern denkt und zu rechnen versteht, jagt aber keinen Utopien nach, es handelt nur so, wenn es gewichtige Gründe anzuführen vermag, die seine EntschlieÙungen rechtfertigen.

Und dann beachte man die überaus rührige und umfassende Arbeit, die Amerika der technischen Erforschung des Aluminiums widmet. Bezeichnend für die Zuversicht und die großen Erwartungen, die man bezüglich der Aluminiumfrage hegt, ist die finanzielle Großzügigkeit, mit der man das neugegründete Aluminiuminstitut in New York ausgerüstet hat. Nicht weniger als 400 Gelehrte suchen hier mit allen Mitteln einer hoch entwickelten Wissenschaft die Probleme zu lösen, die ihnen von seiten der Aluminiumindustrie gestellt werden. Zu diesem großen Sonderinstitut der Aluminiumforschung muß man aber noch die zahlreichen, vortrefflich ausgestatteten Forschungslaboratorien hinzuzählen, die, von großen Werken unterhalten, sicherlich auch zu manchem Spezialproblem des Aluminiums Stellung nehmen werden. Man denke z. B. an Fabriken wie die Western Electric Co. mit 400, die Pennsylvania Railroad Co. mit 361 und die General Electric Co. mit 130 Laboratoriumsangestellten. Man denke an Forschungsstätten wie das Franklin-, das Carnegieinstitut mit ihren reichen Stiftungsgeldern. Man denke an das Melloninstitut of Research, das mit 500000 Dollar, das National Research Council, das mit 3000000 Dollar unterhalten wird, um sich nicht nur von der überwältigenden wissenschaftlichen Machtstellung Amerikas im allgemeinen, sondern auch von den großen Möglichkeiten einer Aluminiumforschung im besonderen einen Begriff zu machen.

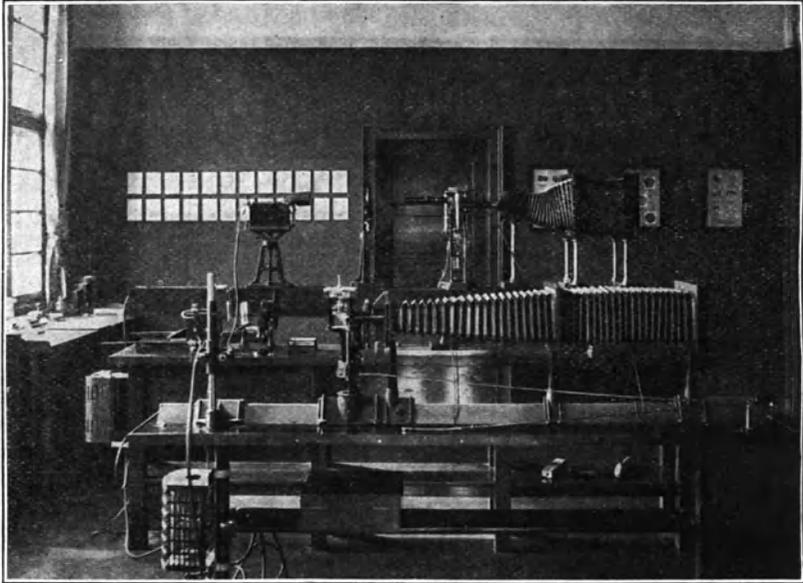
Mit der gleichen Zielsicherheit hat England in den letzten zehn Jahren seine wissenschaftlichen Vereine und Verbände in der großzügigsten Weise ausgebaut. Das englische Scientific and Industrial Research Department umfaßt zahlreiche Universitätslaboratorien, wissenschaftliche Vereine, amtliche und staatliche Körperschaften. Wissenschaft und Technik ist in weitgehendster Weise vereinigt.

Dieser großartige Ausbau wissenschaftlich-technischer Betätigung muß den Siegerstaaten allmählich eine solche wirtschaftliche Überlegenheit geben, daß mit ihnen ein Wettbewerb anderer Völker auf dem Weltmarkt ausgeschlossen ist, sofern nicht diese in ihren wissenschaftlichen Forschungsarbeiten Schritt zu halten vermögen, denn darüber kann keinerlei Zweifel bestehen, daß die wissenschaftlichen Forschungsergebnisse von heute der Fortschritt des Großgewerbes und der gesamten Wirtschaft von morgen sind.

In diesem wissenschaftlichen Ringen um Neuland auf dem Gebiete der Aluminiumforschung wie in dem wirtschaftlichen Wett-

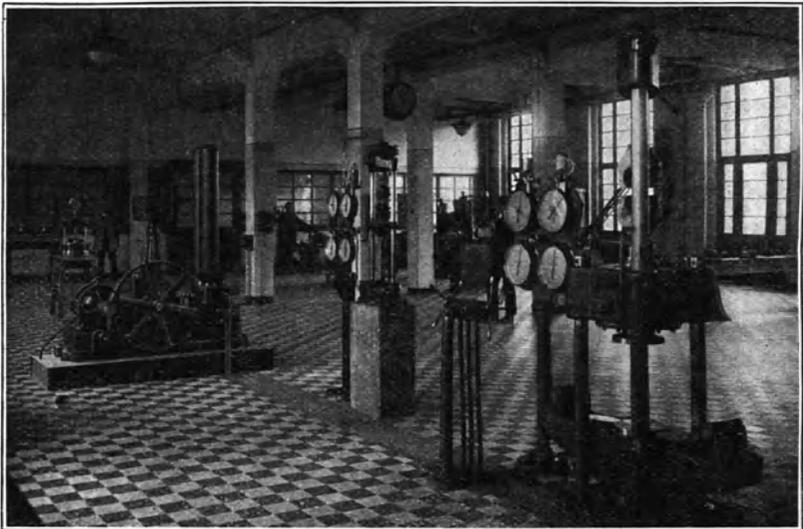
streit in der Entwicklung einer leistungsfähigen Aluminiumindustrie kann und darf das deutsche Volk nicht tatlos beiseite stehen. Zwar besitzt es nicht im entferntesten die gewaltigen Geldmittel Amerikas, auch stehen ihm nicht dessen reiche Erzfelder zu Gebote, wohl aber verfügt es über gut geschulte Chemiker und Metallurgen, die es möglich machen werden, durch planvolle Zusammenarbeit den schweren Wettkampf mit ungleich günstiger gestellten Gegnern ehrenvoll zu bestehen. Daß die Notwendigkeit des Zusammenschlusses in den führenden Kreisen der Metallindustrie übrigens klar erkannt worden ist, beweist die Gründung der Deutschen Gesellschaft für Metallurgie, deren Zeitschrift schon jetzt eine Fundgrube wertvollster metallurgischer Erkenntnis geworden ist. Auch besitzen wir, was bei der Armut unseres Staates und dem daraus folgenden wirtschaftlichen Druck, der die finanzielle Unterstützung unserer technischen Hochschulen aufs äußerste beschnitten hat, doppelt wertvoll ist, große Fabriklaboratorien, in denen erfolgreiche Aluminiumforschung getrieben werden kann und auch schon getrieben worden ist. Wir nennen in diesem Zusammenhang die Metallbank und Metallurgische Gesellschaft, Frankfurt a. M., die Chemische Fabrik Griesheim-Elektron und die Vereinigten Aluminiumwerke mit dem Lautawerk in der Lausitz und dem Erftwerk in Grevenbroich. Wie zielklar und großzügig in unseren erst im Kriege entstandenen Aluminiumhütten den Notwendigkeiten gründlicher Aluminiumforschung Rechnung getragen wird, zeigen die folgenden Bilder des Erftwerklaboratoriums (Fig. 60 u. 61). Das Institut sieht umfangreiche chemische und metallurgische Arbeitssäle mit Schmelzküchen und Versuchsgießerei, sowie eine metallographische Abteilung mit einem physiko-chemischen Arbeits- und einem reich ausgestatteten Materialprüfraum vor. Die Gründung des Instituts erfolgte „aus der Erkenntnis heraus, daß im Vergleich zu anderen Werkstoffen, wie beispielsweise Eisen und Stahl, die wissenschaftliche Erforschung des Aluminiums, insbesondere seiner Metallurgie und Metallographie noch verhältnismäßig jungen Ursprungs ist und daß angesichts der stets umfangreicher werdenden Verwendungsgebiete eine zunehmende Zahl von Fragen technologisch-praktischer Natur auftreten müßte, deren Lösung nur mit Hilfe und auf Grund wissenschaftlicher Arbeitsmethoden zu erwarten war — erinnert sei an die Probleme der Rohstoffbeschaffung aus inländischen Quellen, an die Aufsuchung wirtschaftlicher Fabrikationsverfahren, an die Durchforschung der Legierungen des Aluminiums, an die Probleme seiner Veredlung in technologischer und chemischer Hinsicht und an die mannigfachen, bei der Weiterverarbeitung auftretenden Fragen“. Man kann auch mit Stolz feststellen, daß gerade deutsche Forscher mit höchstem Erfolg auf dem Gebiete der Alu-

Fig. 60.



Metallographische Abteilung.

Fig. 61.



Materialprüfungsraum.

miniumforschung tätig gewesen sind. Erinnerung sei an die Männer von Weltruhm, an Wöhler und Bunsen. Erinnerung sei auch an Kiliani, den Mitbegründer der heutigen Aluminiumindustrie. Dazu kommen die Leistungen aus der neuesten Zeit! Das Duralumin, die bisher beste Aluminiumlegierung der Welt, ist die Frucht metallurgischer Studien des deutschen Gelehrten Wilm, und Aludur und Silumin verdanken zum mindesten deutscher Mitarbeit ihren durchschlagenden Erfolg. Andere deutsche Edellegerungen von vielversprechenden Eigenschaften sind in Entwicklung begriffen, wie z. B. das Skleron und das Lautal. Auch sie werden, so hoffen wir zuversichtlich, Spitzenleistungen auf dem Gebiete der Aluminiumforschung sein, die nicht nur der deutschen Volkswirtschaft zu höchstem Nutzen gereichen, sondern auch mithelfen, den deutschen Namen zu neuem Ansehen zu bringen.

Das deutsche Volk hat es aber auch aus einem anderen Grunde nötig, alle sich bietenden Möglichkeiten, seine allzu schmale Metallbasis zu erweitern, mit allen nur immer möglichen Mitteln der Wirtschaft, der Wissenschaft und Technik zu pflegen. Das schmachvolle Diktat zu Versailles hat uns hinsichtlich des Besitzes jederzeit greifbarer Rohstoffmengen zum ärmsten aller Industrievölker gemacht. Schon vor dem Kriege waren unsere Erzschatze zum größten Teile gehoben. Man denke an die Silberfunde im Sächsischen Erzgebirge und an das Zinn, einst das Gebrauchsmetall des bürgerlichen Haushaltes. Man denke an wichtige Nutzmehalle wie Nickel, Kobalt, Mangan und Wolfram, deren Vorkommen auf deutschem Boden immer spärlich war. Man denke auch an die völlig unzulängliche Erzeugung von Kupfer. Weniger als ein Achtel des dringendsten Bedarfs vermochte schon vor dem Kriege die heimische Produktion zu decken. Wir dürfen nicht vergessen, daß wir auf altem Kulturboden leben. Der Krieg hat mit seinem unglücklichen Ausgang aber den Prozeß der Verarmung an Erz und Rohmetall in erschreckendem Maße verschärft. Vor dem Kriege noch stand unsere Zink-, Blei- und Eisenerzeugung mit an erster Stelle. Das Versailler Diktat hat uns 85 Proz. unserer Zink- und 70 Proz. unserer Bleigruben geraubt und uns gezwungen, dort mit fremder Valuta zu kaufen, wo wir dereinst besaßen. Selbst Eisen und Kohle stehen uns nicht mehr in ausreichendem Maße zur Verfügung. Unsere Eisenerzeugung ist jetzt nicht größer als die Luxemburgs, eines Ländchens mit $\frac{1}{4}$ Million Seelen. Sie trägt nur ein Achtel von der des heutigen Frankreich. Was anderen Völkern beinahe kostenlos in den Schoß fällt, müssen wir mit fremden Devisen teuer bezahlen. Hierzu nur ein Beispiel! 1922 wurden in Deutschland rund 180000 t Kupfer nach Deutschland eingeführt. Rechnet man die Tonne mit 112 Goldmark, so betrug die Ausgabe für diesen Bedarf

mehr als 200 Millionen Goldmark, die in fremder Devisen zu beschaffen waren.

Frühere Kapitel haben gezeigt, wie es möglich ist, am Rohstoffbezug gerade dieses Metalles beträchtlich zu sparen. Die Möglichkeit liegt in dem energischen Entschluß, es überall da auszuschalten, wo das heimische Aluminium gleich gut verwendbar ist. Daraus ergibt sich aber die Forderung des tatkräftigen Ausbaues einer leistungsfähigen Aluminiumindustrie und der planmäßigen Entwicklung der Leichtmetalle überhaupt. Diese Forderung ergeht aber nicht nur an die metallherstellenden und -verarbeitenden Kreise des deutschen Volkes. Sie ergeht auch an die weiten Kreise der Auftraggeber und Verbraucher, denen das Verständnis für volkswirtschaftliche Notwendigkeiten nicht selten völlig fehlt. Bequemer Trott auf ausgetretenen Pfaden ist bei einem reichen und satten Volke, wenn auch nicht lobenswert, so doch ohne sofort sichtbare, schwere Nachteile. Bei einem bitter um seine Existenz ringenden würde er vernichtend wirken.

Man kennt die Bedingungen, unter denen das Aluminium zu hoher Leistungsfähigkeit gebracht werden kann, zwar recht genau. Gleichwohl bleiben noch große und wichtige Aufgaben bestehen, an deren Lösung mitzuarbeiten deutscherseits dringend nötig ist. Zusammengepreßt auf engem Raume, muß das deutsche Volk Nahrungsmittel und Rohstoffe aus dem Auslande beziehen. Es kann dies nur gegen Austausch seiner Industrieerzeugnisse.

Das deutsche Volk kann den Weltmarkt nicht entbehren. Beihaupten kann es sich auf diesem im freien Wettbewerb mit wirtschaftlich und machtpolitisch stärkeren Völkern nur durch überlegene Leistungen. Diese allgemeinen Bedingungen gelten auch auf dem Gebiete der Aluminiumherzeugung und -verarbeitung. Qualitätsarbeit ist also auch hier das Gebot der Stunde. Überlegene Arbeitsleistungen sind aber nur möglich bei tieferer Einsicht in die Arbeitsbedingungen. In Sachen der Aluminiumbearbeitung bedeutet dies ein dringendes Studium aller auftauchenden technisch-wissenschaftlichen Probleme. Deren Studium zu fördern, selbst unter zeitweiliger Vernachlässigung der lediglich auf abstrakte Dinge eingestellten Wissenschaft, sollte man sich im Interesse der dringenden materiellen Bedürfnisse unseres Volkes nicht scheuen, ja maßgebenden Ortes angelegen sein lassen.

Man sagt wohl nicht zu viel, wenn man behauptet, daß der Wiederaufbau der deutschen Volkswirtschaft mit dem planmäßigen und energisch geförderten Ausbau einer leistungsfähigen Aluminiumindustrie Hand in Hand geht. Nicht zum letzten wird dieser bewirkt durch eine gesteigerte Tätigkeit auf dem Gebiete der Metallforschung.

Probleme in großer Zahl harren hier ihrer Lösung. Davon nur einige Beispiele!

Wichtig für viele Zwecke wäre eine bessere chemische Widerstandsfähigkeit des Reinaluminiums, die übrigens, wie wir an anderer Stelle ausgeführt haben, durchaus nicht so gering ist. Beim Eisen ist man nun durch Legieren mit Nickelchrom zu erstaunlichen Graden chemischer Beständigkeit gekommen. Sollten ähnliche Möglichkeiten bei Aluminium nicht auch vorhanden sein? Große Hoffnungen darf man sich freilich nach den bisherigen Erfahrungen mit Aluminiumlegierungen kaum machen, deren Beständigkeit fast durchweg geringer ist als die reinen Aluminiums. Vielleicht führen gewisse Zusätze aber doch zu Speziallegierungen, die chemischen Angriffen bestimmter Art besser als Reinmetall widerstehen. So wird z. B. Duralumin von Quecksilber nicht angegriffen, während Reinaluminium von diesem weitgehend zerstört wird. Neben der Suche nach Edellegerungen wird man den mechanischen und thermischen Einflüssen auf das Aluminium und seine Legierungen und dem Zusammenhang zwischen Eigenschaft und innerem Gefüge seine vollste Aufmerksamkeit zuwenden müssen. Man wird im Zusammenhang mit tieferen Erkenntnissen des metallischen Kleingefüges alle Arbeitsvorgänge auf ihre Zweckmäßigkeit und Verbesserungsmöglichkeit hin ansehen. Die im Gießereiwesen wichtigen Fragen der besten Gießtemperatur der einzelnen Legierungen, der zweckmäßigsten Ausnutzung der Legierungsabfälle, die Verbesserung der Gießmethoden, namentlich des Preß- und Schleudergusses, die Unterdrückung der Seigerungen, der Blasen- und Lunkerbildung harren noch ihrer wissenschaftlichen Klärung.

Nicht anders ist es bei den Walzvorgängen. Über die Bedingungen, die beim Herstellen von Blechen aus Aluminium oder Aluminiumlegierungen einzuhalten sind, bestehen zurzeit nur praktische Faustregeln, deren wissenschaftliche Begründung noch aussteht. Der Einfluß der Kristallgröße, der ganzen Art des Feingefüges, die günstigsten Walztemperaturen und dabei anzuwendenden rationellsten Walzdrücke, die Bedingungen, bei denen die Walzstücke Fehler in Gestalt von Blasen und feinen Rissen bekommen, sind zwecks ihrer Vermeidung kaum studiert. Man kann hierüber die widersprechendsten Ansichten hören.

Die genaue Kenntnis der metallurgischen Vorgänge wird aber nicht nur den Werkprozeß zuverlässiger als bisher machen, nicht nur die Erzeugung von Qualitätsmaterial sicherstellen, sie wird die Arbeitsgänge auch wesentlich verbilligen. Billigerer Preis bedeutet aber vermehrten Verbrauch; er sichert erhöhten Absatz. Wenn es gelänge, die Selbstkosten der Aluminiumgewinnung auf den, sagen wir einmal, vierten Teil ihres heutigen Betrages herabzudrücken,

wenn 1 kg Aluminium nicht 2,4 \mathcal{M} , sondern nur 0,60 \mathcal{M} kostete, es würde bei dem heutigen Grade seiner Verwendbarkeit einer Revolutionierung bestehender Verhältnisse in der Rangordnung der Metalle hinsichtlich ihres Nutzwertes gleichkommen.

In allen den Fällen, in denen man dem Eisen als Werkmetall nur deshalb den Vorzug gibt, weil es das billigste ist, würde das Aluminium in ernstlichen Wettbewerb treten. Für viele Verwendungszwecke wird es zurzeit nur deshalb nicht benutzt, weil es hierfür zu teuer ist. Um es dem Eisen wirtschaftlich gleich zu stellen, bedarf es aber gar nicht einer Verbilligung bis auf den Preis dieses Nutzmanmetalles. Seine leichtere Bearbeitungsmöglichkeit und vor allem sein hoher Altmaterialwert sichern ihm in anderer Hinsicht einen großen Vorsprung.

Noch sind wir von der Möglichkeit einer Verbilligung des Aluminiums in dem angedeuteten Umfange weit entfernt. Und doch kann man den Gedanken seiner kommenden Großmachtstellung im Reiche der Metalle nicht einfach mit einer Handbewegung abtun. Schon einmal hat der Preis des Aluminiums schlagartig einen Sturz auf den zehnten Teil des kurz zuvor noch in Geltung stehenden durchgemacht. Es war, als der Héroultsche Schmelzofen die Schwierigkeiten der elektrolytischen Aluminiumgewinnung beseitigte und die Umstellung der alten chemischen in die elektrochemische möglich machte. Das Héroultverfahren erwies sich dem alten chemischen um ein Vielfaches überlegen. Gleichwohl mehren sich die Stimmen erfahrener Fachleute, die auch in ihm noch nicht die letzte Phase in der Entwicklung der Gewinnungsverfahren des Aluminiums erblicken wollen. Die Hauptschwäche des elektrolytischen Verfahrens liegt in dem unverhältnismäßig hohen Verbrauch an Energie. Askenasy, der dieser Frage seine Aufmerksamkeit gewidmet hat, sagt darüber: „Ohne daß die Wärmetönungen der Reaktionen zu solchen Unterschieden berechtigen würden, ergibt bei der heute üblichen Arbeitsweise derselbe Kraftaufwand eine viermal größere Produktion an Kalzium im Kalziumkarbid als an Aluminium. Ursache ist der überaus viel kleinere Wärmeverlust bei der Arbeit in einer großen Lichtbogeneinheit gegenüber demjenigen in den zahlreichen kleineren elektrolytischen Bädern.“

Auch der Vergleich mit dem Eisen läßt den Gedanken aufsteigen, daß die heutige Gewinnung des Aluminiums nicht als der „Weisheit letzter Schluß“ angesehen werden kann. Beide Metalle werden durch Reduktionsarbeit aus ihren Oxyden gewonnen. Die Bildungswärme des Eisenoxyds beträgt 1352 Cal, die des Aluminiumoxyds 7140 Cal. Verhältnis rund 1 : 6. Die Preise der Rohmetalle verhalten sich aber wie 1 : 50. Diese und ähnliche Feststellungen haben den Wunsch entstehen lassen, auch für das Aluminium eine

thermische, d. h. bei den hohen Temperaturen, die erforderlich sind, elektrothermische Methode zu entwickeln, die mit größerem wirtschaftlichen Erfolge tätig sein könnte als das heute übliche elektrolytische Verfahren. Versuche in dieser Hinsicht sind schon gemacht. Die Société des Nitrures hat mit einem ungeheuren Aufwand an Kapital und Tatkraft den Gedanken einer elektrothermischen Gewinnung des Aluminiums nach Serpeks Patenten zu verwirklichen versucht; bisher ohne Erfolg. Sie ist bisher immer an der Aufgabe gescheitert, einen Ofen zu konstruieren, der den ungeheuren Temperaturen, wie sie der Prozeß benötigt, auf die Dauer gewachsen ist. Die Hoffnung auf die Entwicklung eines geeigneten thermischen Verfahrens ist also zurzeit an ähnliche Bedingungen geknüpft, wie seinerzeit die Lösung der Frage der elektrolytischen Aluminiumgewinnung.

Das große Ziel ist jedenfalls der unermüdlichsten Anstrengung wert. Solange die Lösung dieses großen Problems aber nicht erfolgt ist, darf auch der weitere Ausbau des elektrolytischen Verfahrens keineswegs vernachlässigt werden. Nach allen bisherigen Erfahrungen mit thermischen und elektrolytischen Arbeitsweisen haben sich ja außerdem die letzteren als diejenigen erwiesen, die die Gewinnung des reineren Produktes ermöglichen. Elektrolytische Gewinnungsmethoden werden für Aluminium daher wohl zu allen Zeiten ihren Wert behalten.

Forschungsaufgaben von großer Bedeutung harren ihrer Lösung durch den Hüttenchemiker, auch abgesehen von der problematischen thermischen Methode. Es gilt die zahllosen aluminiumhaltigen Erden, die Aluminiumsilikate, der Verwendung zugänglich zu machen, Raffinierungsmethoden für verunreinigtes Aluminium aufzufinden, die Zusätze zu entdecken, die imstande sind, schädliche Verunreinigungen zu paralysieren.

Möge es der zu planmäßigem Handeln zusammengefaßten deutschen Aluminiumforschung gelingen, bei der weitergehenden Erfassung aller Kräfte und Eigenschaften des merkwürdigen Metalles immer mit in vorderster Reihe zu stehen und so zum Segen der Menschheit im allgemeinen, des deutschen Volkes im besonderen das kommende Zeitalter der Leichtmetalle mit heraufzuführen.

Literatur.

- Heinr. Hirzel, Über das Aluminium und einige seiner Legierungen. Leipzig 1851.
- J. W. Richards, Aluminium. Philadelphia, H. Carey Baird & Co., 1896.
- A. Minet, Die Gewinnung des Aluminiums und dessen Bedeutung für Handel und Industrie. Deutsch von E. Abel. Halle a. d. S., W. Knapp.
- Hugo Krause, Das Aluminium und seine Legierungen, Eigenschaften, Gewinnung, Verarbeitung und Verwendung. Wien und Leipzig, A. Hartleben, 1914.
- Wilh. Borchers, Geh. Reg.-Rat, Prof. Dr.-Ing. e. h. Dr. phil., Metallhüttengetriebe. Bd. III.
- Aluminium. Halle a. d. S., Wilh. Knapp, 1921.
- P. Askenasy, Prof. Dr., Die elektrolytische Gewinnung des Aluminiums und die Versuche zu seiner thermischen Erzeugung. Einführung in die technische Elektrochemie. Bd. II. 1916.
- Pattison, Manufacture of Aluminium. London 1918.
- A. Berge, Die Fabrikation der Tonerde. Halle a. d. S., Wilh. Knapp, 1913.
- Dr. Fränkel, Leitfaden der Metallurgie. Leipzig, Th. Steinkopff, 1922.
- Dr. Reinglass, Chemische Technologie der Legierungen aus: Chemische Technologie in Einzeldarstellungen. I. Teil.
- Dr. Otto Lange, Chemisch-technische Vorschriften. Bd. I: Metalle und Minerale. 1923.
- G. Buchner, Hilfsbuch für Metalltechniker. Berlin 1916.
- Dr. techn. Hiller, Lab.-Buch für Tonerde- und Aluminiumindustrie. Halle a. d. S., W. Knapp.
- Reg.-Rat Dr. Kast, Spreng- und Zündstoffe. Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn Akt.-Ges., 1921.
- Zeitschriften:** Aluminium, Zeitschrift für Metallkunde, Metall und Erz, Zeitschrift für Elektrochemie, Chemikerzeitung, Gießerei-zeitung, Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Zeitschrift „Glückauf!“, Mitteilungen des Materialprüfungsamtes, Chemisches Zentralblatt.
- Druckschriften, Berichte:** Chemische Fabrik Griesheim-Elektron, Metallbank und metallurgische Gesellschaft Frankfurt am Main, Hedderheimer Kupfer- und Süddeutsche Kabelwerke, Meurersche A.-G. für Spritzmetallveredlung, Studien- und Verwertungsgesellschaft „Leichtmetall“ München, Mitteilungen des Metallwirtschaftsbundes (Aluminiumberatungsstelle, Berlin W 35, Potsdamer Straße 122a/b).
-

Patentliste

zur Aluminiumgewinnung und -verarbeitung.

- 11577 (1880), Kl. 40. S. Webster, England, Verfahren zur Herstellung von Aluminiumbronze.
- 26962 (1883), Kl. 75. R. Graetzel, Hannover, Apparate zur Herstellung der Metalle alkalischer Erden.
- 28117 (1884), Kl. 40. S. Webster, England, Verfahren zur Herstellung von Aluminiumbronze.
- 28760 (1883), Kl. 40. J. Braun, Berlin, Verfahren zur Darstellung von Aluminium auf elektrolytischem Wege.
- 31089 (1884), Kl. 40. Lossier, Genf, Verfahren zur Gewinnung von Aluminium aus seinen natürlichen Silikaten durch Elektrolyse.
- 31918 (1884), Kl. 40. Shaw, V. St. A., Legierung aus Aluminium, Kupfer und Phosphor, sowie Verfahren zur Herstellung derselben.
- 32116 (1884), Kl. 40. Lauterborn, Dortmund, Verfahren zur Darstellung von Aluminium aus schwefelsaurer Tonerde durch Antimon und Kohle in hohen Temperaturen.
- 32644 (1884), Kl. 40. Heune, Halle a. d. S., Verfahren zur Darstellung von Aluminium aus amorpher Tonerde.
- 33672 (1885), Kl. 40. E. H. Cowles und A. H. Cowles, V. St. A., Verfahren zum Schmelzen von Erzen mittels Elektrizität (Zusatzpatente 34730 und 35579).
- 34407 (1885), Kl. 40. De Grousilliers, Springe bei Hannover, Verfahren zur Darstellung von Aluminium aus Chloraluminium unter Anwendung von Druck.
- 34728 (1885), Kl. 40. Omholt, Arendal, Norwegen und Chemische Fabrik Gössnitz, Verfahren und Apparat zur kontinuierlichen Darstellung von Leichtmetallen mittels Elektrolyse aus den betreffenden feuerflüssigen Halogenverbindungen.
- 34730 (1885), Kl. 40. E. H. Cowles und A. H. Cowles, Ofen zum Schmelzen von Erzen mittels Elektrolyse (Zusatz zu 33672).
- 35579 (1885), Kl. 40. Zusatz zu 33672. E. H. Cowles und A. H. Cowles, V. St. A. Neuerung am Verfahren zum Schmelzen von Erzen mittels Elektrizität.
- 36601 (1886), Kl. 40, II. Zusatz zu 33672. E. H. Cowles und A. H. Cowles, Neuerung an dem Verfahren zum Schmelzen von Erzen mittels Elektrizität.
- 36602 (1886), Kl. 40. Zusatz zu 33672. E. H. Cowles und A. H. Cowles, V. St. A., Neuerung an dem Verfahren zum Schmelzen von Erzen mittels Elektrizität.
- 39915 (1886), Kl. 40. Lauterborn, München-Gladbach, Verfahren zur Darstellung von Aluminium und Magnesium durch Reduktion der aus ihren ferrocyanalkalischen Verbindungen dargestellten Cyanverbindung mittels Zink.

294 Patentliste zur Aluminiumgewinnung und -verarbeitung.

- 40205 (1886), Kl. 40. Clark, England, Verfahren zur Darstellung von Aluminiumlegierungen.
- 40316 (1886), Kl. 40. S. Webster, Metallegierung aus Kupfer, Zinn, Zink, Nickel, Wismut und Aluminium.
- 40354 (1886), Kl. 12. Menges, Verfahren zur Reduktion oder Dissoziation von Verbindungen mittels elektrischer Glühhitze.
- 40626 (1886), Kl. 40. Walter, Tarnowitz, Verfahren zur Gewinnung von Aluminium auf dem Wege der kaltflüssigen Elektrolyse.
- 41891 (1887), Kl. 40. Reillon und Montagne, Frankreich, Verfahren zur Darstellung von Aluminium.
- 41914 (1886), Kl. 40. Ludwig Grabau, Hannover, Polzelle zur elektrolytischen Gewinnung von leichten Metallen.
- 42022 (1887), Kl. 40. Dr. Kleiner-Fiertz, Zürich, Verfahren und Apparat zur Herstellung von Aluminium und anderen leichten Metallen aus deren Doppelfluorverbindungen und einem Alkali mit Hilfe des elektrischen Lichtbogens.
- 42578 (1887), Kl. 40. I. B. Thompson, W. White, England, Verfahren und Ofen zur Darstellung von Aluminium mittels metallischen Natriums.
- 42601 (1886), Kl. 40. J. Clark, England, Verfahren zur Darstellung einer Eisen-Aluminiumlegierung.
- 43977 (1886). Dr. K. I. Bayer, Verfahren zur Darstellung von Tonerdehydrat aus Alkalialuminat („Bayerprozeß“). Zusatzpatent 65 604.
- 44242 (1887). Lehmann, Berlin, Verfahren zur Herstellung von Bronzepulver aus Wismut-Aluminiumbronze.
- 44511 (1886), Kl. 40. Grabau, Hannover, Verfahren und Apparat zur Schmelzung oder auch Reduktion mittels elektrischen Lichtbogens, gegebenenfalls unter Gewinnung von Legierungen.
- 45012 (1887). Ludwig Grabau, Hannover, Kühlung von Polzellen durch Zirkulation von Gas oder Flüssigkeit in der doppelten Wandung zur Bildung einer verstärkten unangreifbaren Rinde aus der zu zersetzenden geschmolzenen Substanz.
- 45020 (1888), Kl. 40. Ch. A. Burghard, Manchester, Elektrolytische Gewinnung von Aluminium aus wässrigen Lösungen.
- 45021 (1887). Hoffmann und Linke, Aluminiumhaltige Metallkomposition zur Herstellung von Formerwerkzeugen.
- 45198 (1887), Kl. 40. Curt Netto, Dresden, Verfahren zur Herstellung von Aluminium aus Haloid- oder Doppelhaloidalkalisalz.
- 45775 (1887), Kl. 40. A. Mann, London, Neuerung bei der Herstellung von Aluminiumlegierungen (Zusammenschmelzung einer Tonerdeverbindung und des zu legierenden Metalls in Gegenwart eines Reduktionsmittels).
- 45824 (1888). August Winkler, Elektrolytische Darstellung von Aluminium aus Tonerde unter Verwendung feuerflüssiger phosphorsaurer Tonerde und borsaurer Tonerde oder einer Vermischung beider.
- 46753 (1888), Kl. 40. Nahnsen und Pflieger, Hannover, Verfahren zur elektrolytischen Abscheidung von Aluminium, Aluminiumlegierungen und Magnesium aus wässrigen Lösungen.
- 47031 (1888). Ludwig Grabau, Hannover, Darstellung von Aluminium aus Fluoraluminium mit Alkalimetall ohne Flußmittel.
- 47165 (1887), Kl. 40. Schweizerische metallurgische Gesellschaft Neuhäusen, Apparat zur kontinuierlichen Erzeugung von Legierungen des Aluminiums und ähnlicher Metalle auf elektrolytischem Wege (Hérault).

- 47380 (1888). Lazari u. Daniel, Paris, Verfahren zur Herstellung einer Legierung Kupfer, Gold und Aluminium.
- 47457 (1887), Kl. 48. R. Falk, Berlin, Verfahren zur Erzeugung eines aluminiumhaltigen galvanischen Niederschlags von Zn, Sa, Cu, Ni auf anderen Metallen.
- 48040 (1888). Gerhard Lescuyer, Frankreich, Verfahren und Apparat zur kontinuierlichen Gewinnung von Metallen und Metallegierungen mit Hilfe von Elektrizität.
- 48078 (1888), Kl. 48. Falk und Schaag, Berlin, Herstellung von Aluminiumlegierungen durch galvanische Niederschläge.
- 48083 (1888). Aug. Baldwin, New York, Legierung von Aluminium mit anderen Metallen.
- 48535 (1889), Kl. 40. Ludwig Grabau, Hannover, Verfahren zur Gewinnung von Aluminium aus schwefelsaurer Tonerde durch Kreisprozeß.
- 49311 (1888). Grabau, Hannover, Anwendung ungekühlter Gefäße bei der Darstellung von Aluminium.
- 49329 (1889), Kl. 40. Dr. Knöfler, Berlin und Dr. Ledderboge, Darstellung von Aluminium und Magnesium aus den Oxyden.
- 49915 (1887), Kl. 40. Feldmann, Linden b. Hannover, Verfahren zur Darstellung von Aluminium aus den Doppelfluoriden desselben mit Ba, Sr, Mg und Zn.
- 50054 (1889). J. L. Daniel, London, Apparat zur elektrolytischen Gewinnung von Aluminium aus Chloraluminium unter beständiger Erneuerung der Schmelze.
- 50370 (1888). Feldmann, Linden b. Hannover, Verfahren zur Gewinnung von Metallen der Erden und alkalischen Erden.
- 50508 (1889). Kiliani, Neuhausen (Schweiz), Neuerung bei der Elektrolyse feuerflüssiger Körper (Konstruktion eines elektrischen Ofens).
- 50723 (1889), Kl. 40. The Alliance Aluminium Co., Ltd., Verfahren zur Reinigung einer zur Aluminiumgewinnung bestimmten Reduktionsmischung.
- 52639 (1889), Kl. 40. Clark, England, Verfahren zur Herstellung von Aluminiumlegierungen.
- 54132 (1889), Kl. 40. Petit-Devancelle, Paris, Verfahren zur Herstellung von Aluminiumlegierungen.
- 54133 (1889). Green, England, Verfahren von Aluminium oder Aluminiumlegierungen.
- 54660 (1890), Kl. 31. Dr. A. Coehn, München, Verfahren zur Herstellung blasenfreien Gusses aus Aluminium und Aluminiumlegierungen.
- 55096 (1890), Kl. 40. Faure, Paris, Verfahren zur Herstellung von Ferroaluminium und ähnlichen Legierungen.
- 56913 (1890), Kl. 40. M. I. Berg, Paris, Verfahren zur kontinuierlichen Darstellung von Aluminium auf elektrischem Wege unter Benutzung einer mit Alkalinitraten oder -sulfiden versetzten Mischung einer tonerdehaltigen Verbindung und Kohle.
- 57369 (1889), Kl. 40. The Great Western Aluminium Smelting and Refining Co. Incorporator in Denver, V. St. A., Darstellung von Aluminium.
- 57807 (1890). A. W. S. van Oldruitenborgh, Lüttich, Verfahren zur Herstellung von Aluminium durch Zink.

- 58136 (1890). Rietz und Herold, Berlin, Verfahren zur elektrolytischen Herstellung von Aluminium und Magnesium und von Legierungen dieser Metalle mit Gold, Silber, Calcium usw.
- 58600 (1890). Grätzel v. Grätz, Hannover, Verfahren zur Gewinnung von Leichtmetallen auf elektrolytischem Wege.
- 59240 (1890). M. A. Brogowski, Petersburg, Apparat zur Gewinnung von Natrium und Aluminium.
- 59406 (1890). Diehl, Weidenau a. d. Sieg, Verfahren zur Herstellung von Aluminium aus seinen Legierungen.
- 59477 (1890). W. Diehl, Gießen, Darstellung des Aluminiumalkali-fluorids ($\text{Al}_2\text{F}_3\text{NaF}$) behufs Gewinnung eines geeigneten Elektrolyten für die Erzeugung von Aluminium.
- 59888 (1891). Dr. E. Meyer, Berlin, Verfahren zur Gewinnung von Aluminium aus Aluminaten.
- 61845 (1890), Kl. 40. Kaselowsky, Berlin, Verfahren zur Herstellung aluminiumhaltiger Zinkniederschläge unter Benutzung des durch Pat. 47457 geschützten Bades.
- 62460 (1891), Kl. 40. I. W. Langley, V. St. A., Verfahren zur Darstellung von Aluminiumtitanlegierungen.
- 62851 (1891), Kl. 40. Grabau, Hannover, Darstellung von Aluminium durch Elektrolyse.
- 63995 (1890), Kl. 40. Bucherer, Cleveland, V. St. A., Gewinnung von Aluminium aus seinen in geschmolzenen Halogensalzen gelösten Doppelsulfiden.
- 64416 (1892), Kl. 40. Deutsche Gold- und Silberscheideanstalt, vorm. Roessler, Frankfurt a. M., Werkbleientsilberung durch aluminiumhaltiges Zink. [Zusatz zu Pat. 56271 (1890), direkte und vollständige Entsilberung von Werkblei.]
- 65604 (1892). Dr. K. I. Bayer, Verfahren zur Darstellung von Tonerdehydrat aus Alkalialuminat (Zusatz zu Pat. 43977, „Bayer-prozeß“).
- 65839 (1892), Kl. 49. G. Wegner und Gührs, Berlin, Herstellung galvanischer Überzüge auf Aluminium.
- 65921 (1891). Hasenklever & Sohn, Remscheid, Herstellung von Metallen und Metalloiden, insbesondere der Metalle der Alkali, der alkalischen Erden und Erden.
- 66937 (1892), Kl. 40. Solbisky, Witten a. d. Ruhr, Darstellung von Legierungen des Aluminiums mit Ni oder Co und Sn + Cd.
- 67297 (1892), Kl. 48. F. G. Bates, London und W. R. Renshaw, Stoke on Trent, England, Überziehen von Eisen und anderen Metallen mit einer Legierung von Blei und Aluminium.
- 67304 (1892), Kl. 48. A. Friedrich, Lüdenscheid, Westf., Vorbereitung von Aluminiumgegenständen zum Lackieren.
- 68909 (1890), Kl. 40. Aluminiumindustrie Neuhausen, Darstellung von Aluminium durch elektrolytische Reduktion von Aluminiumsulfid.
- 70268 -1892), Kl. 48. Gührs, Wwe., Berlin, Vorbereitung von Aluminium oder dessen Legierungen für Herstellung galvanischer Überzüge.
- 70726 (1892). E. H. S. Stützel, Hamburg-Barmbeck, Verfahren zum Verzinken unter einer Decke von Aluminium.
- 71136 (1892), Kl. 49f. O. Nicolai, Wiesbaden, Lot zum Löten von Aluminium.
- 71384 (1892), Kl. 48. W. Hoeger, Schwäbisch-Gemünd, Verfahren zur Herstellung von galvanischen Überzügen auf Aluminium.

- 72683 (1891), Kl. 49. A. Räder, Christiania, Norwegen, Lötmedium zum Löten von Aluminium.
- 72773 (1893), Kl. 43. Prof. Dr. Dennstedt, Berlin NW, Verfahren zum Überziehen von Aluminium mit anderen Metallen.
- 73583 (1893), Kl. 48. W. Grüne, Berlin SW, Verfahren zum Dekorieren von Aluminium.
- 74532 (1893), Kl. 40. K. Moldenhauer, Frankfurt a. M., Fällung von Gold aus Cyanidlösung durch Aluminium (Zusatz zu Pat. 773943).
- 75659 (1893), Kl. 49. E. Werner, Hamburg-Eimsbüttel, Verfahren zum Löten von Aluminium.
- 75765 (1893), Kl. 49. E. Werner und P. Gührs, Berlin, Verfahren zum Löten von Aluminiumbronze.
- 76220 (1894), Kl. 22. G. Meurer, Dresden-A., Verfahren zum Verzieren metallener Gegenstände mit einem glänzenden, widerstandsfähigen Aluminiumüberzug.
- 76638 (1893). I. Quaglio, Berlin, Färben von Aluminium.
- 77171 (1892), Kl. 49. O. Nicolai, Wiesbaden, Flußmittel zum Löten von Aluminium.
- 77392 (1894), Kl. 40. K. Moldenhauer, Frankfurt a. M., Fällung von Gold aus Cyanidlösungen durch Aluminium (Zusatz zu Pat. 74532).
- 79435 (1894), Kl. 40. L. P. Hulin, Modane, Savoyen, Verfahren zur Herstellung von Legierungen der Alkali- oder Erdalkalimetalle mit Schwermetallen.
- 80944 (1894), Kl. 12. M. M. Jaennigen, Mödling, Wien, Verfahren und Apparatur zur Darstellung der Doppelsulfide des Aluminiums bzw. Magnesiums mit Alkalien oder Erdalkalien zur Elektrolyse der Doppelsulfide.
- 81093 (1894), Kl. 49. O. Nicolai, Wiesbaden, Löt- oder Flußmittel zum Löten von Aluminium.
- 82148 (1894). Gooch und Waldo, Newhaven, Verfahren zur Reduktion von Aluminiumverbindungen durch Elektrolyse auf schmelzflüssigem Wege.
- 82164 (1895), Kl. 40. R. Urbanitzky und A. Fellner, Elektrischer Ofen zur Darstellung von Aluminium [Zusatz zu Pat. 77125 (1893), Kl. 40].
- 82355 (1894), Kl. 40. Gooch und Waldo, Verfahren zur Reduktion von Aluminiumverbindungen durch Elektrolyse auf schmelzflüssigem Wege.
- 82423 (1894), Kl. 48. C. F. I. Oppermann, Verfahren, Aluminium auf galvanischem Wege mit Metallen zu überziehen.
- 82611 (1894), Kl. 40. Thomas T. Oliver, Chicago, Vorrichtung zur Gewinnung von Metallen auf elektrolytischem Wege unter Verwendung von Aluminiumbronze bzw. Aluminiumstahl.
- 82624 (1894). H. Moissan, Paris, Verfahren zur Darstellung von Legierungen mit Aluminium.
- 82819 (1894), Kl. 40. R. I. Roman, London, Wo und Cu enthaltende Aluminiumlegierung (Zusatzpatent 123820).
- 83109 (1895), Kl. 40. A. Roger, Paris, Verfahren zur elektrolytischen Darstellung von Aluminium.
- 83638 (1894), Kl. 40. Dr. A. Peniakoff, Petersburg, Verfahren zur Darstellung von Aluminium aus Schwefelaluminium.
- 84298 (1895), Kl. 48. Basse & Selve, Altena, Westf., Verfahren zur Herstellung von Metallüberzügen durch Kontakt (Aluminium als Kontaktmetall).

298 Patentliste zur Aluminiumgewinnung und -verarbeitung.

- 86503 (1895), Kl. 40. J. Heibling, Grenoble, Darstellung von Legierungen des Fe, Mn, Cr, Al und Ni.
- 86523 (1893). Dr. A. Peniakoff, Petersburg, Verfahren zur Herstellung von Doppelsulfiden des Aluminiums mit anderen Metallen.
86610. Dr. Götting, Wilmersdorf-Berlin, Brünierungsverfahren für Aluminium.
- 90723 (1894), Kl. 40. Karl Berg, Eveking, Westf., Aluminiumlegierung (AlCu + FeCr oder Cr).
- 91535 (1895), Kl. 49. Wachwitz, A.-G., Nürnberg, Verfahren zum Plattieren von Aluminium mit anderen Metallen.
- 92806 (1895). J. L. Gauharou, Paris, Reinigung geschmolzener Metalle, wie Gußeisen, Stahl, Kupfer, Bronze, Nickel, Aluminium durch Natriumcarbid.
- 94845 (1895), Kl. 12. Dr. A. Peniakoff, Petersburg, Verfahren zur Herstellung von Doppelsulfiden des Aluminiums (Zusatz zu Pat. 86523).
- 96233 (1896), Kl. 40. P. E. Placet, Paris, Verfahren zum Reinigen von Aluminium [E. P. 28727 (1897)].
- 96317 (1895), Kl. 40. Th. Goldschmidt, A.-G., Essen, Verfahren zur Herstellung von Metallen oder Metalloiden oder Legierungen derselben (mit Aluminiumpulver).
- 97010 (1896). Société Anonyme, Brüssel, Exploitation des Brevets F. Raynaud, Verfahren zur Darstellung von Chloralkali-Chloraluminiumdoppelsalz.
- 97580 (1897), Kl. 48. E. Quintaine, E. Lepch & G. Weil, Paris, Verfahren zum Überziehen von Aluminium mit anderen Metallen.
- 98650 (1897), Kl. 49. H. Griffith, Birmingham und A. G. Kemplen, Bécon les Bryères, Frankreich, Aluminiumlot.
- 98943 (1897), Kl. 49. Société Anonyme (Aluminium Soudure), Brüssel, Verfahren zum Schweißen von Aluminium mit Aluminium.
- 99405 (1897), Kl. 49. Dick, Grafenberg, Düsseldorf, Verfahren und Vorrichtung zum Pressen von Rohren aus Cu, Al und Legierungen dieser Metalle.
- 100786 (1899), Kl. 48. Nauhardt, Paris, Verfahren zur Versilberung von Aluminium.
- 100889 (1898), Kl. 48. G. Weil & A. Levy, Paris, Verfahren zur Herstellung dunkler Metallüberzüge auf Aluminium.
- 101020 (1896), Kl. 15. Roebelen, Zürich, Buchdruckschrift aus Aluminiumlegierung.
- 101628 (1898), Kl. 48. Nauhardt, Paris, Verfahren zur Vernickelung und Verkupferung von Aluminium (Zusatz zu Pat. 100786).
- 101505 (1898), Kl. 40. Aluminiumindustrie A.-G. Neuhaus, Schweiz, Isolierkörper für elektrische Öfen (zur Aluminiumgewinnung).
- 102965 (1897). Weil & Levy, Paris, Herstellung galvanischer Metallüberzüge auf Aluminium.
- 103162 (1898), Kl. 78. Aluminium- und Magnesiumfabrik Hemelingen, Bremen, Blitzlichtpulver.
- 103560 (1898), Kl. 47. Basse & Selve, Altena, Westf., Verfahren zur Plattierung von Aluminium und aluminiumreichen Legierungen mit anderen Metallen.
- 105502 (1898), Kl. 40. Deutsche Magnesiumgesellschaft, Berlin, Aluminium-Magnesiumlegierung.
- 107868 (1899), Kl. 40. Deutsche Magnesiumgesellschaft, Berlin, Aluminium-Magnesiumlegierung (Zusatz zu Pat. 105502).

- 109433 (1899), Kl. 49. Gesellschaft für elektrische Metallbearbeitung, Berlin, Verfahren zum Schweißen von Aluminium und Aluminiumlegierungen mit oder ohne Anwendung eines Fluß- oder Reduziermittels.
- 110178 (1898), Kl. 42. Zeiss, Jena, Spiegel aus einer Aluminium-Magnesiumlegierung.
- 110548 (1898), Kl. 40. Acher Process Tarent Co., Niagara Falls, V. St. A., Verfahren und Vorrichtung zur elektrolytischen Herstellung von Metallegierungen aus einem Schwermetall und einem Alkali- oder Erdalkalimetall.
- 110786 (1898), Kl. 49. Wachwitz-Metall-A.-G., Nürnberg, Verfahren zur Herstellung von plattierten Aluminiumblechen und -drähten.
- 112546 (1899), Kl. 40b. Basse & Selve, Altena, Westf., Verfahren zur Herstellung einer stark zinkhaltigen schmied-, walz- und preßbaren Aluminiumlegierung.
- 112586 (1895), Kl. 40a. Th. Goldschmidt, A.-G., Essen, Darstellung von geschmolzenem, regulinischem Chrom (mittels Aluminiumpulvers).
- 113037 (1897), Kl. 40a. Dr. Döllner, Berlin, Verfahren zur Darstellung von Metallen und Legierungen (aus einem Gemisch sauerstoff- oder schwefelhaltiger Verbindungen dieser Metalle mit zerkleinerten Erd- oder Erdalkalicarboniden mit oder ohne gepulvertes Aluminium bzw. Magnesium) (Goldschmidtverfahren, vgl. Pat. 96317 und 112586).
- 113596 (1899), Kl. 49i. Bronzefarwerke A.-G. vorm. K. Schlenk, Roth b. Nürnberg, Verfahren zur Herstellung von Aluminiumpulver [Zusatz zu Pat. 144134 (1902)].
- 113816 (1898), Kl. 48b. Mies, Büdesheim, Rheinhessen, Verfahren zum Niederschlagen von Metall auf Aluminium.
- 113935 (1899), Kl. 40b. Deutsche Magnaliumgesellschaft, Berlin, Verfahren zur Erhöhung der Bearbeitungsfähigkeit des Aluminiums [Zusatz zu Pat. 119643 (1900)].
- 115014 (1899), Kl. 40a. Dr. Escales, München, Verfahren zur Herstellung von metallischem Silber aus Halogensilber durch Reduktion mit metallischem Aluminium.
- 116319 (1899) [E. P. 12390 (1899)], Kl. 48. M. B. Ryan, London, Verfahren zum galvanischen Plattieren von Aluminium.
- 118868 (1900), Kl. 49f. W. C. Heraeus, Hanau, Verfahren zum Vereinigen von Aluminium mit Aluminium.
- 118904 (1900), Kl. 49f. Société Internationale des Usines et Fonderies d'Aluminium, Frankreich, Verfahren zum Verbinden von Aluminium mit Gußeisen, Stahl oder Schmiedeeisen.
- 118968 (1900), Kl. 49f. E. Schneider, Lüdenscheid, Westf., Verfahren zur Vorbereitung von aus Aluminium geprägten Gegenständen zum Löten mit Zinn.
- 119221 (1900) [E. P. 6735 (1900)], Kl. 49f. Heraeus, Hanau, Verfahren zum Vereinigen von Aluminium mit Edelmetallen (Zusatz zu Pat. 118868).
- 119643 (1900), Kl. 40b. Deutsche Magnaliumgesellschaft, Berlin, Verfahren zur Erhöhung der Bearbeitungsfähigkeit des Aluminiums.
- 121802 (1899), Kl. 40. Deutsche Magnaliumgesellschaft, Verfahren zur Herstellung von Aluminium-Magnesiumlegierungen mit überwiegendem Aluminiumgehalt durch Elektrolyse.

300 Patentliste zur Aluminiumgewinnung und -verarbeitung.

- 122137 (1899), Kl. 49f. Ph. Wieland und M. R. Wieland, Ulm a. d. Donau, Verfahren zur Vereinigung von aus Kupfer, Aluminium oder ähnlichen Metallen oder deren Legierungen bestehenden Drähten, Platten und dergleichen.
- 123443 (1899), Kl. 48b. E. Mies, Büdesheim, Rheinhessen, Verfahren zum Niederschlagen von Metallen auf Aluminium (Zusatz zu Pat. 113816).
- 123820 (1900), Kl. 40b. Karl Berg, Eveking, Westf., $W_o + C_u$ enthaltende Aluminiumlegierungen (Zusatz zu Pat. 82819).
- 123841 (1900), Kl. 49f. H. Schmidt, St. Gallen, Verfahren zum Löten von Aluminium.
- 123997 (1900), Kl. 49f. F. Krieger, Berlin, LötKolben zum Löten von Aluminium.
- 125088 (1899), Kl. 49f. Allgemeine Thermitgesellschaft Essen, a. d. Ruhr, Verfahren zum Vereinigen metallischer Körper miteinander durch ein mittels Aluminium aus seinen Verbindungen ausgeschiedenes flüssiges Metall.
- 125334 (1900), Kl. 31c. Deutsche Magnaliumgesellschaft, Berlin, Verfahren zur Herstellung von dichten Gußstücken aus Legierungen von Aluminium + Magnesium durch schnelle Wärmeentziehung.
- 125674 (1900), Kl. 48b. A. G. Betts, Lansingburgh (A. P. 675871), Verfahren zur Herstellung von Metallüberzügen auf Aluminium und dessen Legierungen.
- 126914 (1900), Kl. 49f. F. E. Polzenius, Frankfurt a. M., Verfahren zum Löten von Aluminium und dessen Legierungen untereinander oder mit anderen Metallen.
- 127414 (1898), Kl. 40b. H. L. M. Demmler, geb. Secretan, Paris, Bethmont, geb. Secretan und F. C. G. Arbola, geb. Secretan, Reims, Aluminiumnickelbronze.
- 127464 (1899), Kl. 40a. Elektrometallurgie, G. m. b. H., Berlin, Verfahren zur Herstellung von Metallniederschlägen unter Benutzung von Aluminium- oder Magnesiumkontakten (Zusatz zu Patent 172921).
- 128318 (1899), Kl. 40a (Zusatz zu Pat. 127464). Verfahren zur Herstellung von Silber-, Zink-, Blei- und Goldniederschlägen unter Benutzung von Aluminium- oder Magnesiumkontakten.
- 128319 (1899), Kl. 40a (Zusatz zu Pat. 127464). Verfahren zur Herstellung von Kupfer-, Zink-, Messingniederschlägen unter Benutzung von Aluminium- oder Magnesiumkontakten.
- 130725 (1900), Kl. 21g. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin, Elektrolyt für Flüssigkeitskondensatoren mit Aluminiumelektroden.
- 131159 (1901), Kl. 49f. Chr. Phil. Sörensen, Kopenhagen (E. P. 16864), Verfahren zum Löten von Aluminium.
- 131517 (1901), Kl. 40b. Walter Rübel, Berlin, Verfahren zur Erhöhung der Zähigkeit, Dichte und Festigkeit des Aluminiums (Zusatz zu Pat. 137003).
- 132612 (1901), Kl. 40b. K. Berg, Eveking, Westf., Verfahren zum Zähemachen von Aluminium-Silberlegierungen.
- 132794 (1901), Kl. 40b. Wladislaw Prurzkowski, Verfahren zur Herstellung von Legierungen der Metalle der Eisengruppe mit Aluminium.
- 132985 (1900), Kl. 49f. Hjalmar Lange, Schweden, Verfahren zum Löten von Aluminiumgegenständen mittels Aluminium-Zinklegierung.

- 133351 (1901), Kl. 48a. Hippolyte Cassin, Paris, Verfahren zur Vorbereitung von Aluminiumgegenständen für galvanische Plattierung.
- 133508 (1901), Kl. 40a. Societa Italiana Di Applicazioni Elettriche, Turin, Verfahren zur Gewinnung von Metallen, deren Verwandtschaft zu Chlor geringer ist als die des Natriums aus oxydischen Erzen.
- 133592, Kl. 21h. Internationale Acheson Graphite Co., Niagara Falls, V. St. A., Verfahren zum Graphitisieren von Kohlenelektroden.
- 133909 (1901), Kl. 40a. The Pittsbourgh Reduction Co. [E. P. 8153 (1901)], Verfahren zur Reinigung von Aluminium auf elektrolytischem Wege.
- 133910 (1901), Kl. 40b. Aug. Chasureau & Jul. Aug. Mourlon, Paris, Aluminiumlegierung mit überwiegendem Gehalt an Aluminium.
- 134582 (1901), Kl. 31. Walter Rübel, Berlin, Verfahren zum Gießen von Phosphor-Aluminiumlegierungen.
- 134737 (1900), Kl. 48b. Hugo Jäger, Lüdenscheid, Westf., Verfahren zur Herstellung eines Metallüberzugs auf Aluminium.
- 135553 (1900), Kl. 12m. Charles Martin Hall, Niagara Falls, V. St. A., Verfahren zur Gewinnung reiner Tonerde aus Bauxit.
- 137003 (1901), Kl. 40b. Walter Rübel, Berlin, Verfahren zur Erhöhung der Zähigkeit, Dichte und Festigkeit des Aluminiums (Zusatz zu Pat. 131517).
- 137413 (1898). Theod. Corn. van de Stadt, Niederlande, Verfahren zum Löten von Aluminiumteilen miteinander oder mit anderen Metallen.
- 137880 (1902), Kl. 7b. Aluminiumfabrik Ambos, G. m. b. H., Dresden, Verfahren zur Herstellung von Röhren, Stangen und dergleichen mit einem Mantel aus Aluminium oder ähnlichen Metallen.
- 138219 (1900), Kl. 12m. Charl. Martin Hall, Niagara Falls, V. St. A., Verfahren zur Gewinnung reiner Tonerde aus Bauxit und ähnlichem Metall auf nassem Wege.
- 138873 (1902). Deutsche Wachwitz-Metall-A.-G., Nürnberg, Verfahren zur Herstellung von Eisen- und Stahlblechkörpern mit Aluminium-bronzeüberzug.
- 140231 (1902), Kl. 40a. Walter Rübel und Nathan Bernstein, Verfahren zur Darstellung von Aluminium.
- 141105 (1902), Kl. 40a. Walter Rübel und Nathan Bernstein, Verfahren zur Darstellung von Aluminium (Zusatzpatent zu 140231).
- 141190 (1900), Kl. 40b. Dr. Ernst Murmann, Wien, Aluminium-Zink-Magnesiumlegierung.
- 143397 (1902), Kl. 40f. Neild, Elizabeth Emmeline & Campell Frank Holty Lodge, England, Aluminiumlot und Verfahren zur Herstellung desselben.
- 143901 (1902) [It. P. 94399 (1908), U. S. P. 921609 (1909)]. Charles Martin Hall, Niagara Falls, V. St. A., Verfahren zur Reinigung von Bauxit und anderen unreinen Aluminiumoxyden.
- 144134 (1902), Kl. 49h. Bronzefarbwerk, A.-G., vorm. Karl Schlenk, Roth b. Nürnberg, Verfahren zur Herstellung von Aluminium und anderen Bronzepulvern (Zusatz zu Pat. 113596).
- 144340 (1902), Kl. 40b. Isabellenhütte, G. m. b. H., Dillenburg, Manganaluminiumbronze.
- 144584 (1902), Kl. 40b. Isabellenhütte, G. m. b. H., Dillenburg, Verfahren zur Herstellung magnetisierbarer (aluminiumhaltiger) Manganlegierungen.

302 Patentliste zur Aluminiumgewinnung und -verarbeitung.

- 144 777 (1902), Kl. 40b. Les Etablissements Poulenc Frères, Paris & Maurice Meslans, Verfahren zur Herstellung von Calcium-Aluminiumlegierungen mit hohem Calciumgehalt.
- 144 798 (1902), Kl. 21g. Grisson & Co., Hamburg, Elektrolytische Zelle mit Aluminiumelektrode.
- 145 820 (1902), Kl. 40a. Dr. Escalles, München, Verfahren zur Herstellung von Metallen oder Metalloiden oder Legierungen derselben unter Verwendung von Magnesium, Aluminium und Metallen der seltenen Erden.
- 146 985 (1903), Kl. 40b. Vogt & Co., Niederbruck, Masmünster, Aluminiumbronze zur Herstellung von Rakeln.
- 148 627 (1902), Kl. 40. Gustave Gin, Paris, Verfahren zur elektrolytischen Gewinnung des Aluminiums.
- 149 720 (1902), Kl. 49i. Deutsche Wachwitz-A.-G., Nürnberg, Verfahren zur Herstellung von mit Aluminiumbronze überzogenen Kupferblechen oder -körpern.
- 151 241 (1902), Kl. 49f. Tomellini Massimo, Migliarino a. Monte, Verfahren und Vorrichtung zum Löten von Aluminium bzw. Aluminiumlegierungen.
- 152 042 (1903), Kl. 49i. Deutsche Wachwitz-Metall-A.-G., Nürnberg, Verfahren zum Verbinden von Stahl- und anderen beim Erhitzen schwer oxydierenden Metallplatten mit Reinaluminium oder mit Aluminium überzogenen sonstigen Metallblechen, -platten oder -körpern.
- 152 241 (1902), Kl. 49f. Chr. Sörensen, Slagelse, Dänemark, Verfahren zum Löten von beliebigen Metallen auf Aluminium oder auch von Aluminium auf Aluminium.
- 152 784 (1902), Kl. 40b. Anton Manhardt, Wien, Verfahren zur Darstellung einer Legierung aus Aluminium, Sn, Sb, Cu und Mg.
- 154 485 (1903), Kl. 40b. Zentralstelle für wissenschaftlich-technische Untersuchungen, Neubabelsberg Berlin, Al-Ni-Ti-Legierung.
- 155 908 (1903), Kl. 40b. Albert Jacobsen, Hamburg, Verfahren zur Herstellung einer Kupferlegierung im Verhältnis der Atomgewichte ihrer einzelnen Bestandteile (Cu, Al, Fe, Ni).
- 159 848 (1903), Kl. 18b. Samuel Parfitt, Cardiff, England, Verfahren zur Einführung von Aluminium in Gegenwart von Natrium.
- 160 286 (1903), Kl. 40a. Heinrich Schwahn, V. St. A., Verfahren zur Darstellung von Aluminium durch Behandlung von Aluminiumverbindungen mit einer gasförmigen Schwefelverbindung und einem Reduktionsgas (U. S. P. 964 566).
- 163 545 (1904), Kl. 48d [E. P. 14 194 (1907), Schw. P. 43 480 (1907), It. P. 91 442 (1910)]. Dr. Albert Lang, Karlsruhe, Verfahren zum Oxydieren oder Färben oder Emaillieren von Aluminiumgegenständen durch Behandlung mit Quecksilberverbindungen.
- 165 612 (1903), Kl. 12m. Compagnie des Produits Chimiques d'Alais et de la Camargue, Salindres, Frankreich, Verfahren zur Gewinnung vollkommen wasserfreier Tonerde durch Calcinierung von Tonerdehydrat.
- 165 965 (1905), Kl. 49i. Gautschi & Jequier, Ganterswil, Schweiz, Verfahren zur Herstellung schmiegsamer Aluminiumfolie.
- 165 977 (1903), Kl. 48b. Gührs Wwe., Berlin, Verfahren zur Herstellung eines schmelzflüssigen, aluminiumreichen Zinkbades zur Erzeugung hochglänzender Zinküberzüge.

- 166671 (1903), Kl. 48b. Gührs Wwe., Berlin, Verfahren zur Herstellung eines schmelzflüssigen, aluminiumreichen Zinkbades zur Erzeugung hochglänzender Zinküberzüge (Zusatz zu Pat. 165977).
- 166823 (1904), Kl. 49i. Deutsche Wachwitz-Metall-A.-G., Nürnberg, Verfahren zur Verbindung verschiedener Metalle durch eine Aluminiumzwischenlage.
- 166893 (1904), Kl. 40b. Albert Jacobsen, Hamburg, Verfahren zur Herstellung einer Kupferlegierung nach Maßgabe der Atomgewichte der zu legierenden Metalle (Zusatz zu Pat. 155908).
- 168202 (1903), Kl. 48b. Gührs Wwe., Berlin, Verfahren zur Herstellung eines schmelzflüssigen, aluminiumreichen Zinkbades zur Erzeugung hochglänzender Zinküberzüge (Zusatz zu Pat. 165977).
- 169301 (1903), Kl. 40b. Albert Jacobsen, Hamburg, Verfahren zur Herstellung von Bronzen sehr hoher Festigkeit, Härte und Widerstandsfähigkeit gegen chemische Einflüsse (Zusatz zu Pat. 155908).
- 169310 (1904), Kl. 48a. Basse & Fischer, Lüdenscheid, Westf., Verfahren zum Verzinken von Aluminiumgegenständen auf elektrolytischem Wege.
- 170085 (1903). Zentralstelle für wissenschaftlich-technische Untersuchungen, Neubabelsberg, Verfahren zum Veredeln von Aluminiumlegierungen durch Glühen und Abschrecken.
- 171071 (1904), Kl. 49f. Leonhard Fries, Zürich, Verfahren zum Löten von Aluminium und aluminiumreichen Legierungen.
- 172327 (1900), Kl. 78c. Fa. Roth, Wien, Neuerung an Sprengstoffen (Salpetersaures Ammon + Aluminium mit oder ohne Kohlenstoffträger).
- 172637 (1905), Kl. 49f. Küppers Metallwerke, Bonn a. Rhein, Verfahren zum Löten von Aluminium bzw. aluminiumreichen Legierungen mittels Vor- und Hauptlot.
- 172747 (1904), Kl. 49f. Adolf Pochwadt, Görlitz, Verfahren und Lot zum Löten von Aluminium mit Aluminium oder anderen Metallen, bei welchem die zu verbindenden Stellen unter Ausschluß von Flußmitteln mit dem Lot überzogen werden.
- 172869 (1902), Kl. 78c. Westfälisch-Anhaltische Sprengstoff-A.-G., Berlin, Verfahren zur Erhöhung der Kraftäußerung von Sprengstoffen und Zündsätzen (Zumischung leicht oxydierbarer Metalle, wie Magnesium oder Aluminium in Form von Metallwolle).
- 172921 (1904). Elektrometallurgie, G. m. b. H., Berlin, Verfahren zur Herstellung von Nickelniederschlägen unter Benutzung von Aluminium- oder Magnesiumkontakten (Zusatz zu Pat. 127464).
- 173902 (1904), Kl. 12m. J. William Taylor Gibbs, V. St. A., Verfahren zur nassen Aufschließung von schwer aufschließbaren Silikaten.
- 174476 (1903), Kl. 40c, 6. Frank J. Tone, Niagara Falls, V. St. A., Verfahren zur Gewinnung von Elementen wie Silicium, Aluminium, deren Reduktionstemperatur der Verflüchtigungstemperatur naheliegt.
- 174698 (1904), Kl. 12m (E. P. 13875). Giorgio Levi, Rom, Verfahren zur Gewinnung von reiner Tonerde und Alkalisilikat aus natürlichen Doppelsilikaten.
- 175416 (1904), Kl. 12m. Fr. Curtius & Co., Duisburg, Verfahren zur Herstellung von Aluminiumoxyd aus Bauxit.
- 176009 (1905), Kl. 21g. Robert Hopfeld, Berlin, Verfahren zur Herstellung von Spulen für elektrische Zwecke.

304 Patentliste zur Aluminiumgewinnung und -verarbeitung.

- 179390 (1905). Th. Goldschmidt, Essen, Widerstandsfähige Tiegelauskleidung für aluminothermische Verfahren.
- 179403 (1904), Kl. 40a. K. Aug. Kühne, Dresden, Verfahren zur Darstellung von Metallen, Metalloiden oder Legierungen derselben miteinander und mit Aluminium aus Gemengen von Aluminium mit den sauerstoffhaltigen Verbindungen derjenigen Elemente, welche nach dem Aluminothermitverfahren von Goldschmidt in einheitlicher regulinischer Form nicht darstellbar sind.
- 180554 (1905), Kl. 12m. Dr. Clemm, Mannheim, Verfahren zur gleichzeitigen Darstellung von Tonerde und Alkalithiosulfat durch Glühen von Bauxit oder ähnlichen tonerdehaltigen Materialien mit Alkalisulfat und Kohle.
- 181737 (1905), Kl. 48d. Zentralstelle für wissenschaftl.-techn. Untersuchungen, Neubabelsberg, Verfahren zum Veredeln von Aluminiumlegierungen durch Glühen und Abschrecken (Zusatz zu Pat. 170085).
- 181991 (1905), Kl. 12i. Dr. Ottokar Serpek, Verfahren zur Herstellung von Aluminiumstickstoffverbindungen.
- 182421 (1906), Kl. 48d. Dr. Albert Lang, Verfahren zum Oxydieren und Färben oder Emaillieren von Aluminiumgegenständen (Zusatz zu Pat. 163545).
- 182442 (1902), Kl. 12m. Mark Packard, Buffalo, V. St. A., Verfahren zur Abscheidung von Tonerde aus Tonerde und Kieselsäure enthaltenden Materialien.
- 182775 (1905), Kl. 12m. Chemische Fabrik Griesheim-Elektron, Verfahren zur Darstellung von Tonerdehydrat aus Alkalialuminaten [E. P. 13970 (1906), Schw. P. 12395 (1906), Norw. P. 16620 (1906), Öst. P. 33495 (1907)].
- 183702 (1905), Kl. 12i. Dr. Ottokar Serpek, Verfahren zur Herstellung von Aluminiumstickstoffverbindungen (Zusatz zu Pat. 181991).
- 184717 (1905), Kl. 40b. Jacobsen, Hamburg, Verfahren zur Herstellung einer Kupferlegierung nach Maßgabe der Atomgewichte der zu legierenden Metalle (Zusatz zu Pat. 166893).
- 185030 (1906), Kl. 12m. Dr. Rud. Clemm, Mannheim, Verarbeitung von Bauxit und Alkalisulfat auf Tonerde und Alkalisulfide (Zusatz zu Pat. 180554).
- 186182 (1906), Kl. 40c. Anton Gardner und G. Betts, V. St. A., Verfahren zur Darstellung von reinem Aluminium oder dessen metallisch-leitenden Verbindungen durch schmelzflüssige elektrolytische Raffination [E. P. 795886 (1905), U. S. P. 938634 (1909)].
- 186630 (1906), Kl. 12i. J. D. Riedel, A.-G., Berlin, Verfahren zur Herstellung von wasserhaltigen Aluminiumsilikaten oder künstlichen Zeolithen [Zusatzpatente 192156 (1906) und 200931 (1907)].
- 186910 (1906), Kl. 48d. Dr. Albert Lang, Karlsruhe, Verfahren zum Oxydieren und Färben oder Emaillieren von Aluminiumgegenständen durch Einwirkung von Säure und Alkali [Zusatz zu Pat. 163545, vgl. E. P. 14194 (1907), Schw. P. 43480 (1907), It. P. 91442 (1910)].
- 188068 (1904), Kl. 40b. Jacobsen, Hamburg, Verfahren zur Veredelung von Kupfer-Zinklegierungen.
- 190234 (1905), Kl. 40b. Franz Josef Schumacher, Stuttgart, Metallegierung zum Ausgießen von mit Säuren in Berührung kommenden Hohlgegenständen (49,5 Ni, 49,5 Al, 1,0 P).
- 192015 (1905), Kl. 40a. Th. Goldschmidt, Essen, Verfahren zur Gewinnung von Metallen in hochohitztem, flüssigem Zustand

- unter Bildung leichtflüssiger Schlacken aus Metallsauerstoff-, Metallschwefel- oder Metallhalogenverbindungen oder Gemengen dieser Stoffe mit Reduktionsstoffen nach Art des Aluminothermits.
- 197447 (1906), Kl. 31c, 1. Mc Adams William Albert, V. St. A. Formmasse zum Gießen von dichten Gußstücken aus Aluminiumlegierungen.
- 197510 (1906), Kl. 49f, 11. Martin Gruber, Berlin, Lot zum Löten von Aluminium und seinen Legierungen.
- 197881 (1903), Kl. 12m, 5. Cie des Produits Chimiques d'Alais et de la Camargue, Salindres, Frankreich, Verfahren zur Gewinnung von möglichst kieselsäurefreier Tonerde aus Mineralien, im besonderen Bauxit.
- 198704 (1906), Kl. 78c, 17. Dr. Conrad Claesum, Berlin, Verfahren zur Erhöhung der Sprengkraft von Ammonsalpetersprengstoff (statt Aluminiumpulver Verwendung von Aluminiumzinkpulver) „Ammonal“, Name des Sprengstoffs.
- 198707 (1907), Kl. 12m, 6. Dr. Erik Ludwig Rinmann, Upsala, Schweden, Verfahren zum Herstellen von Tonerdeverbindungen [E. P. 15590, It. P. 91406 (1907)].
- 200357 (1906), Kl. 31c, 11. Salomon Farenk, Verfahren zur Herstellung von blasenfreien Gußblöcken aus Zink, Aluminium oder Kupfer durch Verdichtung mittels Pressens in Gußform.
- 201893 (1907), Kl. 12m, 6. Erik Ludwig Rinmann, Upsala, Schweden, Verfahren zur Herstellung von pulvrigem Tonerdehydrat (Zusatz zu Pat. 198707).
- 203441 (1907), Kl. 31c, 24. Fr. W. Witte, Leipzig und Deutsche Kugellagerfabrik, Verfahren, die Festigkeit von Gußstücken aus Leichtmetallen, z. B. Aluminium oder seinen Legierungen, zu vergrößern.
- 203557 (1906), Kl. 40b, 2. Frederik William Fletcher & Lionel William John Digby, England, Metallegierung für Hufbeschläge (96 Proz. Aluminium) [U. S. P. 867194 (1906)].
- 204004 (1907), Kl. 40a, 12. Henri Herrenschildt, Paris, Verfahren zur Abscheidung von Metallen und Nichtmetallen aus ihren natürlichen und künstlichen Verbindungen im Schmelzprozeß.
- 204543 (1907), Kl. 40b, 2. Dr. Alfred Wilm, Zentralstelle für wissenschaftlich-technische Untersuchungen, Neubabelsberg, Aluminiumlegierung mit Gehalt an Magnesium unter 2 Proz. [E. P. 26322 (1907), Fr. P. 384187 (1907)].
- 205209 (1907), Kl. 12i. Gerhart Loesekann, Hannover, Verfahren zur Herstellung von künstlichem Kryolith aus Flußspat [Fr. P. 396703 (1908), Schw. P. 46039 (1909), Öst. P. 40175 (1909)].
- 205790 (1908), Kl. 40c. Henri Herrenschildt, Paris, Verfahren zur Herstellung von Aluminium aus natürlichem Bauxit [Fr. P. 383554 (1907), Schw. P. 41625 (1908), E. P. 433 (1908)].
- 206588 (1908), Kl. 40c, 16. Dr. Ottokar Serpek, Verfahren zur Reduktion von Tonerde.
- 208402 (1907), Kl. 40a. Dr. Gerhard Just, Dr. Max Mayer, Verfahren zur Gewinnung von Beryllium durch Reduktion von Berylliumoxyd mit Aluminium.
- 209812 (1908), Kl. 78e, 2. Dr. Albert Lang, Verfahren zur Herstellung von metallhaltigen Knallquecksilberzündsätzen (Aluminium- oder Magnesiumpulver mit Schwefel).

- 214 705 (1906), Kl. 78c. Jul. Richter, Neumarkt, Oberpfalz, Zündung (von Minen) unter Vermittlung eines aus Aluminium oder Legierungen von Aluminium und sauerstoff- oder kohlenstoffhaltiger Substanz bestehenden Zwischenzündpulvers auf elektrischem Wege.
- 214 963 (1907), Kl. 40c. Virginia Laboratory Co., New York, Verfahren zur elektrolytischen Gewinnung der schwerer schmelzenden Leichtmetalle (Erdalkali oder deren Legierungen).
- 215 695 (1914), Kl. 78c. Ferd. Krieger, Verwendung von Legierungen des Antimons mit Eisen mit oder ohne Zusatz von Leichtmetallen als Pyrophore.
- 216 619 (1907), Kl. 78c, 3. Verfahren zum Entzünden von Minen (Zusatz zu Pat. 214 705).
- 216 746 (1908), Kl. 12i, 29. Dr. Ottokar Serpek, Verfahren zur Herstellung von Aluminiumnitrid.
- 217 637 (1908), Kl. 49f, 15. Albert Nielsen, Drammen, Norwegen, Verfahren zum Löten von Aluminium [E. P. 50 55 (1908) und 15 105 (1909)].
- 218 970 (1906), Kl. 40b, 2. Krupp, A.-G., Essen, Aluminiumlegierung.
- 219 778 (1907), Kl. 40a, 11. Josef Buchel, Dortmund, Verfahren zur Gewinnung von Metall auf aluminothermischem Wege.
- 222 939 (1907), Kl. 48b. Küppers Metallwerke, Bonn, Verfahren zur Herstellung von metallischen Verbindungen zwischen Aluminium oder Aluminiumlegierungen und anderen Metallen oder Metallegierungen.
- 222 940 (1907), Kl. 48b. Küppers Metallwerke, Bonn, Verfahren zur Herstellung von metallischen Verbindungen zwischen Aluminium oder Aluminiumlegierungen und anderen Metallen oder Metallegierungen (Zusatz zu Pat. 222 939).
- 222 960 (1906), Kl. 49f, 15. Aktiengesellschaft für autogene Aluminiumschweißung, Zürich, Verfahren zum Schweißen und Verschmelzen von Aluminium oder aluminiumreichen Legierungen.
- 223 190 (1909), Kl. 48b, 6. Gührs Wwe., Berlin, Verfahren zur Herstellung eines schmelzflüssigen, aluminiumhaltigen Zinkbades zur Erzeugung hochschmelzender Zinküberzüge (Zusatz zu Pat. 165 977).
- 224 231 (1909), Kl. 78c. Ferd. Krieger, Pyrophore Massen (Magnesium-Antimonlegierung mit Zusätzen von Aluminium und Magnesium).
- 224 284 (1907), Kl. 49f, 15. Aktiengesellschaft für autogene Aluminiumschweißung, Zürich, Verfahren zum Schweißen bzw. Verschmelzen von Aluminium oder aluminiumreichen Legierungen.
- 224 628 (1909), Kl. 12i, 29. Dr. Ottokar Serpek, Verfahren zur Herstellung von Aluminiumstickstoff.
- 225 260 (1908), Kl. 49h. L. Auerbach & Co., Fürth, Vorrichtung zum Reinigen zur Herstellung von Bronze- oder Aluminiumpulver dienender Metallkörper von Oxydschichten und sauren Rückständen mit in den Waschtrommeln kreisenden Bürsten.
- 227 416 (1908), Kl. 49f. Heinrich Germann, Zürich, Lötwasser zum Löten von Aluminium.
- 228 481 (1909), Kl. 12m, 6. Fa. E. Merck, Darmstadt, Verfahren zur Herstellung geschmolzener Oxyde von Metallen mit hoher Verbrennungswärme (Al, Mg, Be).
- 228 541 (1908), Kl. 49f, 15. Heinrich Gerhardi, Zürich, Lötstab mit Lötmittelfüllung.
- 229 061 (1908), Kl. 49f. Karl Steinweg, Lüdenscheid, Westf., Verfahren zum Löten von Aluminium mit aluminiumreichem Lot oder reinem Aluminium [E. P. 6138 (1909)].

- 229162 (1909), Kl. 12i, 1. Chemische Fabrik Griesheim-Elektron, Verfahren zur Herstellung eines Dauerpräparates zur Entwicklung von Wasserstoff (Aluminiumpräparat).
- 230095 (1909), Kl. 40b, 2. Robert Esnault-Pelterie, Frankreich, Aluminiumlegierung [Fr. P. 405157 (1909), Zusatz zu Fr. P. 17907 (1913)].
- 230118 (1906), Kl. 12m, 5. Dr. Hans Müller, Leopoldshall b. Staßfurt, Verfahren zur Herstellung von Tonerdehydrat.
- 230982 (1908), Kl. 48d, 3. Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft, Berlin, Verfahren zum Brünieren und Schwarzfärben von Aluminium, Zn, Sn, Mg und deren Legierungen.
- 231002 (1909). Dr. Aug. Lesmüller, München, Verfahren zur Herstellung von gesunden Metallgüssen durch Zusatz von Metallen zu dem zu vergießenden geschmolzenen Metalle.
- 231060 (1909), Kl. 40b, 2. La Société Anonyme „Le Ferro-Nickel“, Paris, Leichte Aluminiumlegierung [Fr. P. 402450 (1909), E. P. 18198 (1909), Schw. P. 49158 (1909)].
- 231149 (1909), Kl. 49f, 15. Karl Steinweg, Lüdenscheid, Flußmittel zum Löten von Aluminium oder aluminiumreichen Legierungen mittels reinen Aluminiums oder aluminiumreicher Legierungen.
- 231327 (1909), Kl. 21c, 7. Spezialfabrik für Aluminiumspulen und -leiter, Berlin, Verfahren zur elektrischen Isolierung von blankem Aluminiumdraht oder -bandbunden oder Aluminiumspulen.
- 231332 (1909), Kl. 21g. Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft, Berlin, Elektrolytische Aluminiumzelle.
- 231886 (1908), Kl. 12i, 29. Dr. Ottokar Serpek, Verfahren zur Herstellung von Aluminium-Nitridverbindungen (Zusatz zu Pat. 183702).
- 232563 (1908), Kl. 12m, 7. Chemische Fabrik Griesheim-Elektron, Verfahren zur Herstellung von eisenfreier Tonerdeverbindung durch Aufschluß mit Schwefelsäure im Überschuß.
- 235213 (1906), Kl. 12i, 29. Dr. Ottokar Serpek, Verfahren zur Darstellung von Aluminiumstickstoffverbindungen (Zusatz zu Pat. 181991).
- 236244 (1910), Kl. 48a, 6. Mix & Genest, Verfahren zur Vorbehandlung von zu galvanisierendem Aluminium und seinen Legierungen [E. P. 13012 (1910), Fr. P. 414098, 415123, 415228 (1910), Schw. P. 52283 (1910)].
- 237268 (1909), Kl. 80b. Ald. C. Higgins & George N. Jeppson, V. St. A., Verfahren zum Reinigen geschmolzener Tonerde in Körnerform.
- 237529 (1910), Kl. 48a, 6. Mix & Genest, Telephon- und Telegraphenwerke, Alkalische und alkalischhaltige Bäder zur kathodischen Vorbereitung des Aluminiums und seiner Legierungen mit vorwiegendem Aluminiumgehalt für Galvanisierung.
- 237805 (1910), Kl. 48a, 6. Mix & Genest, Verfahren zum Galvanisieren von Aluminium und seinen Legierungen mit vorwiegendem Aluminiumgehalt.
- 238228 (1909), Kl. 78f. Kuhnheim & Co., Berlin, Verfahren zur Herstellung luftbeständiger hochpyrophorer Metallmassen (Mg- und Al-haltiges Ca).
- 238406 (1910), Kl. 48a, 6. Mix & Genest, Telephon- und Telegraphenwerke, A.-G., Schöneberg-Berlin, Verfahren zum Galvanisieren von Aluminium und seinen Legierungen mit vorwiegendem Aluminiumgehalt (Zusatz zu Pat. 236244).

308 Patentliste zur Aluminiumgewinnung und -verarbeitung.

- 239 909 (1910), Kl. 12. Société Générale des Nitrures, Paris, Verfahren zur Darstellung von Aluminiumnitrid [Öst. P. 49 171 (1910)].
- 241 055 (1910), Kl. 21g. Dagobert Timar, Berlin, Elektrolytischer Flüssigkeitskondensator.
- 241 339, Kl. 12m. Société Générale des Nitrures, Paris, Verfahren zur Herstellung reiner Tonerde nach dem Bayerverfahren.
- 242 142 (1909), Kl. 48a, 6. Aluminiumgalvanisierungsgesellschaft, Berlin, Verfahren zur Vorbehandlung von Aluminiumgegenständen für Herstellung galvanischer Überzüge.
- 242 311 (1910), Kl. 40a. Alfr. Sinding-Larsen & Ole Joh. Storm, Christiania, Verfahren zur Darstellung von Aluminium oder Legierungen von Aluminium mit anderen Metallen nebst Siliciumcarbid [Norw. P. 21 338 (1909), E. P. 25 408 (1906), Fr. P. 384 069 (1907), It. P. 92 268 (1907)].
- 242 313 (1911), Kl. 40b. Dr. Wilh. Borchers & Herm. Schirmeister, Verfahren zur Verbesserung mechanischer und chemischer Eigenschaften des Aluminiums.
- 242 347 (1910), Kl. 40b, 2. Hans Weber, Berlin, Verfahren zum Zusammenschmelzen von Abfällen aus Aluminium und aluminiumreichen Legierungen.
- 243 839 (1909), Kl. 12i, 29. Badische Anilin- und Sodafabrik, A.-G., Verfahren zur Herstellung von Aluminiumstickstoffverbindungen.
- 244 136 (1911), Kl. 48b, 9. Fr. Jordan, Berlin, Verfahren zum Ver-aluminieren von Eisen durch Eintauchen der zu überziehenden Gegenstände mit schmelzflüssigem Aluminium.
- 244 221 (1911), Kl. 12 m, 5. Chr. Aug. Beringer, Verfahren zur Gewinnung von Bariumaluminat.
- 244 538 (1910), Kl. 12m, 7. Richter & Richter, Frankfurt, Verfahren zur Gewinnung von Aluminiumsalzen.
- 244 550 (1910), Kl. 40b. Gaston Jacquier, Transvaal, Gegen die Wirkung von Schwefelsäure, Cyanlösungen und dergleichen widerstandsfähige Legierung aus Al, Bi, Cu mit Zusatz von Si (92 Proz. Aluminium), „Argilit“.
- 244 554 (1909), Kl. 48d, 5. Dr. Alfred Wilm, Verfahren zum Veredeln von magnesiumhaltigen Aluminiumlegierungen.
- 244 829 (1909), Kl. 49i, 5. Franz Jordan, Berlin, Verfahren zum Verbinden von Aluminium mit Metallen von über der Schmelztemperatur des Aluminiums liegenden Schmelzpunkten.
- 245 156 (1911), Kl. 48b, 9. Franz Jordan, Berlin, Verfahren zum Vervollständigen von Aluminiumüberzügen auf Eisenblechen, die nach der Tauchmethode analog dem Feuerverzinnen des Eisens bewirkt worden sind.
- 245 629 (1911), Kl. 21h, 11. Planiawerk, A.-G., Ratibor, Kohlelektroden für elektrische Öfen mit zur Verminderung ihres elektrischen Widerstands eingegossener Metalleinlage.
- 246 334 (1910), Kl. 21h, 7. Dr. Ottokar Serpek, Elektrischer Drehofen mit im Ofenraum verlaufendem Heizstab zur Herstellung von Aluminiumnitrid (Zusatz zu Pat. 246 931/2 und 248 054).
- 246 419 (1909), Kl. 12m, 9. Dr. Ottokar Serpek, Verfahren zur Herstellung reiner Tonerde aus Bauxit und anderen tonerdehaltigen Materialien.
- 246 484 (1911), Kl. 40b, 2. Dr. Wilh. Borchers, Aachen und Otto Barth, Oker a. Harz, Verfahren zur Veredlung von Aluminium durch Legieren mit Ceritmetall in Mengen bis zu etwa 0,2 Proz.

- 246 682 (1911), Kl. 48a, 1. Mix & Genest, Telephon- und Telegraphenwerk, Schöneberg-Berlin, Verfahren zum Dekapieren von mit galvanischem Überzug zu versehendem Aluminium und Legierungen mit vorwiegendem Aluminiumgehalt durch Behandlung in einer Lösung von Chloriden strengflüssiger Schwermetalle.
- 246 700 (1909), Kl. 21g, 1. Spezialfabrik für Aluminiumspulen und -leitungen, Berlin, Verfahren zur Verhütung einer Beschädigung der Oxydschicht von Aluminiumdraht bei Herstellung von Aluminiumspulen.
- 247 355 (1910), Kl. 21h, 11. Planiawerk Ratibor, Kohleelektroden für verschiedene elektrische Zwecke (Zusatz zu Pat. 238 343 und 248 082).
- 247 444 (1910), Kl. 40c. Virginia Laboratory Co., New York, Elektrolytische Herstellung von Leichtmetallen.
- 247 763 (1908), Kl. 12m. Dimitry Peniakoff, Brüssel, Verfahren zur ununterbrochenen Gewinnung von Alkalialuminaten aus einem Gemenge tonerdehaltiger Mineralien, Alkalisulfat und Sulfiden unter Wiedergewinnung des Alkalisulfats.
- 247 820 (1910), Kl. 15b, 1. Dr. Otto Strecker, Ätze für Flachdruckformen aus Metall, insbesondere Aluminium oder Zink, unter Verwendung komplexer und oxydierender Salze.
- 248 857 (1910), Kl. 48d, 4. Zeno d'Amico, Verfahren zur Erzeugung eines gegen die Einwirkung des Seewassers und konzentrierter Säuren und Alkalien widerstandsfähigen Überzugs auf Aluminium [Zusatz zu Pat. 273 292 (1912)].
- 251 057 (1912), Kl. 48a, 6. The Harvey Electro Chemical Co., Ltd., Verfahren zum Vorbehandeln von Aluminium oder dessen Legierungen zur Erzeugung von Metallniederschlägen.
- 254 657 (1912), Kl. 21c, 7. Spezialfabrik für Aluminiumspulen und -leitungen, Berlin, Verfahren zur elektrischen Isolierung von Aluminium und Aluminiumlegierungen.
- 257 868 (1911), Kl. 40b, 2. Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft, Berlin, Leichtes Lagermetall.
- 257 990 (1912), Kl. 48a, 1. Chemische Fabrik E. Merck, Darmstadt, Verfahren zur Reinigung und Entfettung von Metall, insbesondere von Schmuckgegenständen mittels alkalischer Lauge und Wasserstoffsperoxyd (Zusatz zu Pat. 261 984).
- 259 530 (1912), Kl. 40b. Sadamaso Uyeno, Tokio, Erzeugung von Wasserstoff aus oxydierenden (aluminiumhaltigen) Legierungen.
- 260 484 (1912), Kl. 40b. Thomas Abraham Bayliss und B. George Clark, England, Legierung aus Aluminium, Zink und Blei [Zusatz zu Pat. 272 492 (1913), Fr. P. 462 361 (1913)].
- 263 603 (1910), Kl. 21c, 7. Gesellschaft für elektrotechnische Industrie, G. m. b. H., Berlin, Verfahren, Drähte aus Aluminium oder verwandten Metallen mit einer Isolierschicht von hoher mechanischer, thermischer und elektrischer Widerstandsfähigkeit zu versehen.
- 264 534 (1911), Kl. 21c, 7. Spezialfabrik für Aluminiumspulen und -leitungen, Berlin, Verfahren zur Herstellung eines isolierenden Überzugs aus Aluminiumverbindungen auf elektrischen Leitern.
- 265 248 (1912). Sadamaso Uyeno, Tokio, Verfahren zum Überziehen eiserner Bleche, Drähte usw. mit Aluminium durch Tauchen der zu überziehenden Gegenstände in geschmolzenes Aluminium und Bürsten während der Eintauchzeit.

310 Patentliste zur Aluminiumgewinnung und -verarbeitung.

- 265 358 (1911), Kl. 48f, 9. Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft, Berlin, Verfahren zur Herstellung von Metallüberzügen auf leicht oxydierenden Metallen, wie Aluminium, unter mechanischer Zerstörung der Oxydschicht bei Luftabschluß.
- 265 903 (1911), Kl. 21c. Herm. Engel, Hamburg, Elektrisch leitende Verbindung von Kupfer oder Messing mit Aluminium.
- 265 924 (1911), Kl. 40b. Wilhelmine d'Or, Berlin, Harte Aluminiumlegierung [Zusatz zu Pat. 268 515 (1913) und 277 121 (1913)].
- 266 355 (1912), Kl. 21c, 7. Spezialfabrik für Aluminiumspulen und -leitungen, Berlin, Verfahren zur elektrolytischen Herstellung eines isolierenden Überzugs von Aluminiumverbindungen auf elektrischen Leitern (Zusatz zu Pat. 264 534).
- 266 423 (1912), Kl. 40b. Walther Northcott Naylor & Charles P. Hutton, England, Verfahren, um Aluminium gegen Verwitterung, sowie gegen Einflüsse von Seewasser, Säuren und dergleichen widerstandsfähig zu machen und Vorrichtung zu seiner Ausführung.
- 267 017 (1912), Kl. 48a, 1. Aug. Rosenberg, London, Verfahren und Mittel zur Oberflächenreinigung von Gegenständen aus Silber und anderen Metallen.
- 267 477 (1911), Kl. 40b. Jos. Greville Mellen, Will. Francis Mellen, Jos. Veit, New York, Verfahren zur Herstellung von Legierungen aus Aluminium und anderen Metallen unter Verwendung von Flußmitteln [A. P. 982 218, Öst. P. 62 138 (1913), Schw. P. 56 891 (1911)].
- 271 548 (1912), Kl. 40b, 2. Ant. Maurice Kohler, Brüssel, Aus einer Aluminiumlegierung bestehende Platte zum Reinigen von Metallgegenständen (aus Silber usw.).
- 272 043 (1913), Kl. 40a, 17. Joh. Vogelsanger, Schweiz, Verfahren, um Aluminium widerstandsfähig zu machen, gemäß welchem das Aluminium mit einem heißen Gemisch von Natronlauge und Salz behandelt wird.
- 272 996 (1913), Kl. 40b, 2. Harry Orniston, Australien, Verfahren zur Herstellung von Aluminiumlegierungen.
- 273 292 (1912), Kl. 48d, 4. Zeno d'Amico, Genua, Verfahren zur Erzeugung eines gegen die Einwirkung von Seewasser und konzentrierten Säuren oder Alkalien widerstandsfähigen Überzugs aus Aluminium (Zusatz zu Pat. 248 857).
- 273 498 (1912), Kl. 48d, 4. Julian Tronel, Berlin, Verfahren zum Schützen und Verzieren von Aluminium.
- 275 231 (1912), Kl. 48b, 6. Vittorio Carbone, Genua, Verfahren zum Überziehen von Aluminium mit Kupfer oder Kupferoxyd.
- 276 257 (1912), Kl. 18a, 1. Maria Canac, geb. Quentin, Frankreich, Verfahren zur Vorbehandlung von auf galvanischem Wege unmittelbar zu vernickelnden Aluminiumgegenständen.
- 276 715 (1912), Kl. 48c. Peter Schumacher, Köln, Verfahren zum Färben und Dekorieren von Aluminiumgegenständen.
- 280 940 (1913), Kl. 48c. Franz Schönbach und Max Fischer, Böhmen, Verfahren zum Dekorieren von Aluminiumgegenständen durch Einbrennen von Schmelzfarben.
- 282 328 (1913), Kl. 48d. Dr. Albert Lang, Karlsruhe, Verfahren zur Herstellung korrosionssicherer Gegenstände aus Aluminium und Schwermetallen (unter Anwendung von Chromsäure und Schwefel).

- 282861 (1912), Kl. 21g, 1. Spezialfabrik für Aluminiumspulen und -leitungen, Berlin, Elektrische Spule.
- 282899 (1910), Kl. 48b, 9. Emil Fritzsche, Verfahren zur Herstellung von Metallüberzügen [Zusatz zu Pat. 284067 (1911) und 284554 (1913)].
- 283075 (1912), Kl. 40a, 17. Evaline Olive Leggett, geb. Hulman, Niagara Falls, V. St. A., Verfahren zur Verfeinerung von Aluminium [E. P. 17594 (1912)].
- 283110 (1912), Kl. 21c, 7. Spezialfabrik für Aluminiumspulen und -leitungen, Berlin, Verfahren zum elektrischen Isolieren von Drähten aus Aluminium und verwandten Metallen, nach welchem die Drähte als Anode in einem Bade mit Kieselsäurealkaliverbindungen einer Hochspannungselektrolyse unterworfen werden.
- 284067 (1913), Kl. 48b, 9. Emil Fritzsche, Paste für das Verfahren zur Herstellung von Aluminiumüberzügen auf Blech nach D. R.-P. 282899 (Zusatz zu Pat. 284554).
- 284531 (1912), Kl. 12i. Gebr. Giulini, Ludwigshafen, Bayern, Verfahren zur Darstellung von Aluminiumnitrid und anderen Nitriden.
- 284601 (1912), Kl. 12m, 5. Dr. Friedr. Hirsch und Dr. Franz Russ, Wien, Verfahren zur Gewinnung von Tonerde aus Aluminatlaugen nach dem Bayerprozeß.
- 285245 (1912), Kl. 48b. Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft, Verfahren, auf Metallgegenständen einen schützenden Überzug aus Aluminium durch Erhitzen des Metalls in einer Umgebung von Aluminiumpulver, erforderlichenfalls in nichtoxydierender Atmosphäre zu erzeugen.
- 285490 (1912), Kl. 21h, 12. Allgemeine Deutsche Aluminiumkochgeschirrfabrik Gebr. Gnüchtel, Lauter, Sa., Verfahren zum elektrischen Widerstandsschweißen von Aluminium.
- 286939 (1913), Kl. 48b, 9. Dr. Wilh. Krumbhaar, Köln-Ehrenfeld, Verfahren zur Herstellung von Aluminiumüberzug auf Eisen und Stahl, insbesondere Eisenblech, bei welchem Aluminiumpulver in dünner Schicht auf den zu überziehenden Gegenstand aufgebracht und dieser alsdann erhitzt wird.
- 288701 (1913), Kl. 40b. Dr.-Ing. K. Wagenmann, Aachen und Dipl.-Ing. Marcell Welter, Eine als Oxydationsmittel verwendbare Legierung aus Al—Mg—Mn.
- 289064 (1912), Kl. 12i, 10. Humann & Teisler, Dohna b. Dresden, Verfahren zur Gewinnung von Doppelverbindungen des Aluminiumfluorids und Fluornatriums aus Kieselfluornatrium und Tonerde [Zusatz zu Pat. 293944 (1913), Fr. P. 458750 (1913) und 461181 (1913), Schw. P. 65122 (1913)].
- 290129 (1915), Kl. 21g, 11. Georges Giles, Freiburg, Elektrolytischer Kondensator und elektrolytisches Ventil (Aluminiumanlage).
- 290134 (1912), Kl. 49f, 18. Gesellschaft für elektrotechnische Industrie, Berlin, Verfahren zum elektrischen Schweißen von Messing, Aluminium und Stoffen gleicher Wärmeleitfähigkeit (Zusatz zu Pat. 288946, Ausführungsform D. R.-P. 290135).
- 290745 (1914), Kl. 21h. Pfretzschner & Co., Pasing-München, Maschinenfabrik, Verfahren zum Verbinden von überlappten Blechen aus Aluminium, Messing und anderen Metallen oder Metalllegierungen ohne eigentliche Schweißtemperatur [Zusatzpatent 292618 (1914)].

- 294910 (1916), Kl. 12i, 1. L. Elkans Erben, G. m. b. H., Charlottenburg, Verfahren zur Gewinnung von Wasserstoff aus aktiviertem Aluminium.
- 295573 (1912), Kl. 12i, 29. Gebr. Giuliani, G. m. b. H., Verfahren zur Herstellung von Aluminiumstickstoff durch Einwirken von Stickstoff auf Tonerde in Gegenwart eines Reduktionsmittels in der Hitze [E. P. 25574 (1912), Fr. P. 451405, Schw. P. 62849, Öst. P. 72238 (1915)].
- 295786 (1914), Kl. 40b, 1. Allgemeine deutsche Metallwerke, Zinklegierung [neben Zink 2 Proz. Metall der Eisengruppe (Wo, Co, Ni) und 1 bis 8 Proz. Aluminium].
- 297191 (1915). Maschinenbauanstalt Humboldt, Köln-Kalk, Zinklegierung [im Hartzink 10 Proz. einer Zusatzlegierung, 50 Proz. Mn, 20 Proz. FeSi (75 Proz.-haltig), 25 Proz. Al, 5 Proz. Mg, dazu 1 bis 2 Proz. Ca, das in die Schlacke geht und C entfernt].
- 298206 (1915), Kl. 48b, 9. Fr. Mönch, V. St. A., Verfahren zum Überziehen von Eisen und Stahl mit Aluminium.
- 298948 (1916), Kl. 78c, 18. Hugo Lohmann, Berlin, Verfahren zur Herstellung von Sprengstoffen, Metalloide und Aluminium in feiner Verteilung zu einem Körper gepreßt und durch kräftige Initialzündungen aus Pikrinsäure, Knallquecksilber, Dynamit und Schießbaumwolle zur Detonation gebracht.
- 298999 (1915), Kl. 78e, 5. De Wendelsche Berg- und Hüttenwerke, Hayingen, Lothr., Aus brennbarem Metallpulver (Aluminium) und einem brennbaren Absorptionsstoff für flüssige Luft bestehendes Sprengmittel [Zusatzpatent 300630 (1914)].
- 299072 (1915), Kl. 12m, 5. A. Prager, Verfahren, ungarische Bauxite, Kaoline usw. aufzuschließen, die sich schwer nach dem Bayerverfahren aufschließen lassen.
- 299121 (1912), Kl. 12m, 6. Dr. Max Buchner, Heidelberg, Verfahren zur Herstellung reiner Tonerde aus Ton und anderen Tonerdematerialien.
- 299652 (1916), Kl. 12m. Dr. Ignaz Szirmay u. Dr. Arnim Tététlein, Budapest, Verfahren zur Herstellung von Tonerdehydrat aus schwer aufschließbaren Bauxiten (ungarische Bauxite).
- 299653 (1916), Kl. 16m. Dr. Ignaz Szirmay u. Dr. Arnim Tététlein, Budapest, Verfahren zur Gewinnung reinen Tonerdehydrats aus konzentrierter Alkalialuminatlauge.
- 299781 (1915), Kl. 12m. Dr. Max Buchner, Heidelberg, Verfahren zur Herstellung von Metallhydroxyd, insbesondere von Aluminiumhydroxyd.
- 300092 (1918), Kl. 12m. Dr. Wilh. Borchers, Aachen, Verfahren, natürlich vorkommende Aluminiumsilikate aufzuschließen.
- 300684 (1916), Kl. 12m. Dr.-Ing. Wilh. Borchers, Aachen, Verfahren, natürlich vorkommende Aluminiumsilikate aufzuschließen.
- 301675 (1914), Kl. 12m, 6. Dr. Max Buchner, Verfahren zur Herstellung von Metallhydraten, insbesondere Aluminiumhydrat in leicht auswaschbarer und leicht filtrierbarer Form durch Fällung aus ihren Salzlösungen [Zusatzpatent 302412 (1914)].
- 301722, Kl. 12h, 2. Chemische Fabrik Griesheim-Elektron, Verfahren zur Herstellung von Elektrodenkohle.
- 301784 (1916), Kl. 40b, 1. Th. Goldschmidt, Essen, Zinklegierung mit geringen Mengen Al (1 bis 6 Proz.), Si, Co, Ni und 4 Proz. Mn [Zusatz zu Pat. 301785 (1916) und 301786 (1916)].

- 302594 (1916), Kl. 40a, 5. Gebr. Giuliani, G. m. b. H., Ludwigshafen, Verfahren zur Gewinnung von Reinaluminium aus auf thermischem Wege gewonnenem Aluminium bzw. Aluminiumlegierungen [E. P. 8166 (1913), Fr. P. 456280 (1913)].
- 302811 (1916), Kl. 42e, 26. H. Meinecke, A.-G., Breslau-Karlowitz, Herstellung der beweglichen Teile in Wassermessern aus einer Legierung von Aluminium und Silber.
- 303864 (1917), Kl. 40b, 1. Isabellenhütte, Dillenburg, Eisenhaltige Mn-Cu-Legierungen (mit Gehalt an Si, Al, Zn, Sn).
- 303913 (1916), Kl. 12m, 6. Dr. Max Buchner, Heidelberg, Verfahren zur Herstellung einer für die Zwecke der Aluminiumfabrikation geeigneten Tonerde.
- 305287 (1915), Kl. 40b. Dr.-Ing. Heinrich Hanemann und Wilh. Stockmeyer, Berlin, Hartbleiersatz (Bleilegierung mit 4 Proz. Magnesium und Zusatz von Aluminium).
- 305364 (1914), Kl. 12m. Elektroosmose-A.-G. Graf Schwerin, Berlin, Verfahren zur Herstellung von Aluminiumhydroxyd aus Alkali-aluminatlauge.
- 306355 (1917), Kl. 12m. Dr. Paul Askenasy, Karlsruhe und Dr.-Ing. Victor Gerber, Schweiz, Verfahren zur Verarbeitung von Kaolin usw. auf Tonerde.
- 307525 (1917), Kl. 12i, 10. Chemische Fabrik H. Bergius & Co., Goldschmieden, Verfahren zur Herstellung von Kryolith.
- 308542 (1918), Kl. 12b, 2. Rheinisches Elektrowerk, A.-G., Köln, Verfahren zur Verschmelzung von Bauxit auf Ferroaluminium im elektrischen Ofen.
- 310137 (1918), Kl. 48b, 9. Fa. Lippmann, Berlin, Verfahren zur Herstellung von Überzügen (Aluminium) auf Metallunterlagen, wie Eisenblechen (Zusatz zu Pat. 312480).
- 310404 (1918), Kl. 31c. Metallindustrie Schiele & Bruchsaler, Rastatt, Ba., Verfahren zum Vergießen von Aluminium in Eisen- oder Metallformen (Nitoritguß) [Zusatzpatent 324676 (1919) und 324748 (1919)].
- 311368 (1913), Kl. 12m, 6. Ed. S. Fickes, Pittsburg, V. St. A., Verfahren und Vorrichtung zum Fällen von Aluminiumhydroxyd aus einer alkalischen Aluminatlösung [E. P. 26903 (1912), Fr. P. 451493 (1912)].
- 311677 (1916), Kl. 21g. Spezialfabrik für Aluminiumspulen und -leitungen, G. m. b. H., Vorrichtung zur Herstellung von elektrischen Spulen aus metallischen Leitern, insbesondere Aluminiumspulen.
- 312761 (1916), Kl. 40b. R. Stock & Co., Spiralbohrerwerkzeug- und Maschinenfabrik, A.-G., Legierung aus Zink, Kupfer, Aluminium (Tenax).
- 313185 (1918), Kl. 75c, 5. Baer & Co., Metallhütte, Verfahren zum Überziehen von Metallgegenständen aller Art, die härter als Aluminium sind und deren Schmelzpunkt höher als der des Aluminiums liegt mit Aluminiumoxyd [Zusatzpatent 341289 (1919)].
- 313329 (1917), Kl. 49f, 15. Metallhütte Baer & Co., Verfahren zur Verzinnung der Lötstellen an Werkstücken und veraluminieren Eisenblechen.
- 313865 (1918), Kl. 49f, 15. Metallhütte Baer & Co., Verfahren zum Verschweißen von Aluminiumblättchen (Folien) auf Eisenbleche unter Vermeidung schädlicher Gefügeänderungen [Zusatz zu Pat. 318166 und 355728 (1920)].

314 Patentliste zur Aluminiumgewinnung und -verarbeitung.

- 314790 (1918), Kl. 48b, 4. Metallindustrie Schiele & Bruchsalser, Verfahren zur Herstellung von Aluminiumüberzügen auf Metallgegenstände, die härter als Aluminium sind.
- 314999 (1918) Kl. 40b, 2. Anton Manhardt, Wien, Verfahren zur Herstellung von Aluminiumlegierungen.
- 315074 (1918), Kl. 40b, 1. A.-G. der Dillinger Hüttenwerke, Dillingen a. d. Saar, Metallegierung (Bleilegierung) als Rostschutz mit 1 Proz. Sb, 1 Proz. Sn und 0,5 Proz. Al.
- 315231 (1912), Kl. 49f, 15. Chemische Fabrik Griesheim-Elektron, Verfahren zum Schweißen bzw. Verschmelzen von Aluminium.
- 318141 (1919), Kl. 48d, 5. Metallhütte Baer & Co., Verfahren zur Erhöhung der Widerstandsfähigkeit des Aluminiums gegen Säuren und alkalische Flüssigkeiten.
- 318148 (1918), Kl. 49f, 15. Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft, Berlin, Verfahren zum Löten oder Schweißen von Metallen, insbesondere Aluminium.
- 318304 (1918), Kl. 40a, 17. Karl Hess, Heilbronn, Verfahren und Einrichtung zur Wiedergewinnung von Leichtmetallen aus Spänen, Rückständen und Aschen [Zusatz zu Pat. 320220 und 343614 (1921)].
- 318346 (1917). Hedderheimer Kupferwerke und Süddeutsche Kabelwerke, A.-G., Frankfurt a. M., Verfahren zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften, insbesondere der Kerbzähigkeit von Zn-Al-Legierungen mit einem Gehalt von 10 bis 60 Proz. Aluminium.
- 319814 (1917), Kl. 40a, 34. Kohle und Erz, G. m. b. H., Essen a. d. Ruhr, Verfahren zur aluminothermischen Gewinnung von Zink und Korund.
- 320247 (1917), Kl. 12i, 2. Franz Karl Meiser, Nürnberg, Verfahren zum Brennen von Kunstkohlen.
- 320289 (1917), Kl. 12h, 2. Höganäs Billesholms Aktiebolag, Helsingborg, Verfahren zur Herstellung eines für Kohlelektroden dienlichen Materials aus Anthrazit.
- 320690 (1917), Kl. 12i, 10. J. L. Karl Eckelt, G. m. b. H., Berlin, Verfahren zur Herstellung von Kryolith.
- 322844 (1919), Kl. 12m. Dr. Hans Pleissner, Brück, Verfahren zur Verarbeitung von tonerde- und kieselsäurehaltigem Gut.
- 322960 (1919), Kl. 40 b, 1. Heinrich Falkenberg, Wutza bei Hannover, Zinkbleilegierung mit 2 Proz. Al, 1,5 Proz. Cu und 5 Proz. Fe.
- 323523 (1917), Kl. 40b, 1. United Lead Co., New York, Bleilegierung mit Sb, Ca, Cu und Al.
- 324391 (1919), Kl. 31c, 5. Metallhütte Baer & Co., Verfahren zur Herstellung dichter Gußstücke aus Aluminium unter Verwendung hochohitzer Formen.
- 324619 (1919), Kl. 48a, 16. Hirsch, Kupfer- und Messingwerke, A.-G., vorm. Ludw. v. Grothuss, Eberswalde, Verfahren zum Brünieren von Aluminium.
- 325943 (1917), Kl. 40a, 17. Oswald Pieschel, Dresden, Verfahren zur Veredlung von Aluminium.
- 326160 (1919), Kl. 40a, 17. Physikalisch-Technische Reichsanstalt, Verfahren zum Reinigen von Aluminium, dessen Verunreinigungen unter 1 Proz. betragen.
- 327400 (1913), Kl. 12m, 5. C. Courtagne, Lyon, Frankreich, Verfahren zur ununterbrochenen Herstellung von Alkali- oder Erd-

- alkalialuminat und Ammoniak aus Aluminiumstickstoff mit Alkali- oder Erdalkalihydroxyden in der Wärme.
- 327413 (1919), Kl. 21h, 12. Felten & Guilleaume, Karlswerk, A.-G., Mühlheim, Verfahren zum Verschweißen von Aluminiumdrähten miteinander.
- 330917 (1919), Kl. 75c. Metallhütte Baer & Co., Verfahren zum Ver-aluminieren von Metallgegenständen.
- 330988 (1920), Kl. 40c, 16. Dr.-Ing. Victor Gerber, Zürich, Ver-fahren zur Herstellung von Aluminium aus Tonerde.
- 332389 (1919), Kl. 12m, 5. Aktieselskabet Høyangfaldene Norsk Aluminium Co., Christiania, Norwegen, Verfahren zur Herstellung von Tonerde aus kieselsäurehaltigen Tonerdematerialien durch Glühen mit Calciumcarbonat und Alkaliverbindungen und nach-träglicher Auslaugung.
- 332669 (1918), Kl. 40c, 6. Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft, Ein-richtung zur Aluminiumgewinnung auf elektrolytischem Wege.
- 334475 (1919), Kl. 40c, 6. Metallbank und Metallurgische Gesellschaft, Frankfurt a. M., Verfahren zur Gewinnung von Metallen und Legierungen durch schmelzflüssige Elektrolyse.
- 334680 (1917), Kl. 31c. Ernst Herbert Kühn, Dresden, Aluminium-formpuder.
- 335596 (1918), Kl. 31a. Baer & Co., Rastatt, Ba., Verfahren zum Schmelzen von Aluminium und Aluminiumlegierung in Tiegeln.
- 335887 (1920), Kl. 40b, 1. Rare Metals Reduction Co., Baltimore, V. St. A., Verfahren zur Herstellung von Legierungen aus Zirkon und Eisen mit 7 bis 17,4 Proz. Aluminium.
- 335888 (1918), Kl. 40b, 2. Alfred Uhlmann, Berlin-Steglitz, Ver-fahren zur Herstellung einer Kupfer-Aluminiumverbindung.
- 337078 (1920), Kl. 40a, 17. Dr. Fritz Caspari, Corbach, Waldeck, Verfahren zur Herstellung von praktisch aluminiumfreien Metallen und Legierungen aus aluminiumhaltigen Legierungen.
- 337296 (1920), Kl. 40a. Richard Walter, Düsseldorf, Verfahren zum Brikettieren von Spänen und Abfällen von Metallen und Legierungen [Zusatz zu Pat. 350643 (1920) und 352684 (1920)].
- 338474 (1917), Kl. 12m, 6. Fellner & Ziegler, Frankfurt a. M., Ver-fahren und Vorrichtung zum Calcinieren von Aluminiumhydroxyd.
- 339326 (1919), Kl. 48b, 10. Metallhütte Baer & Co., Verfahren zur Herstellung rostsicherer, hitzebeständiger Überzüge aus Aluminium-bronze auf Eisengegenständen [Zusatz zu Pat. 347302 (1919) und 339496].
- 339788 (1920), Kl. 12m. Höganäs Billesholms Aktiebolag, Höganäs, Schweden, Verfahren zur Herstellung von Aluminiumoxyd aus Aluminiumchlorid.
- 339819 (1918), Kl. 12m. Det Norske Aktieselskab for Elektrokemisk, Industri, Norsk Hypotekbank. Verfahren zur Darstellung eisen-armer Aluminiumverbindungen.
- 339983 (1918), Kl. 12m. Heinr. Jakob Goldschmidt, Christiania, Verfahren zur Darstellung von Tonerde.
- 340294 (1919), Kl. 49f, 15. Ernst Ohmenhäuser, Stuttgart, Ver-fahren zur Herstellung eines Schweißlots für Aluminiumguß.
- 340379 (1920), Kl. 40b, 1. Franz Lange, Rautenkranz, Cr-Mn-Ni-Bronze für Preßzylinder für hydraulische Pressen und Achsen-lager (mit 2 Proz. Aluminium und Eisen).

316 Patentliste zur Aluminiumgewinnung und -verarbeitung.

- 340767 (1919), Kl. 47f, 9. Metallhütte Baer & Co., Verbindung dünnwandiger Aluminiumrohre.
- 340966 (1919), Kl. 49i, 5. Metallhütte Baer & Co., Verfahren zum Plattieren von Eisendraht mit Aluminium durch Ziehen.
- 342366 (1920), Kl. 40b, 3. Dr.-Ing. Karl Bornemann und Max Schmidt, Breslau, Verfahren zur Entfernung des Aluminiums aus aluminiumreichen Zinklegierungen.
- 343264 (1916), Kl. 40a, 50. Société Electro-Métallurgique Française, Paris, Verfahren zur Gewinnung von Calciumaluminat.
- 343739 (1920), Kl. 40b, 1. Ad. Pouchain, Turin, Manganmessing mit 61 Proz. Cu, 10,7 Proz. Mn, 3,6 Proz. Al, 0,5 Proz. Ti und 0,37 Proz. Ni.
- 343740 (1920), Kl. 40b, 1. Ad. Pouchain, Turin, Zinklegierung mit Cd, Fe, Zn, Cu, Mn und Al.
- 345185 (1920), Kl. 49f, 15. Aug. Passalacqua, Paris, Verfahren zum Löten von Aluminium.
- 346763 (1920), Kl. 12m. Det Norske Aktieselskab for Elektrokemisk-Industri, Norsk Industri Hypotekbank, Verfahren zur Herstellung von Tonerde aus Aluminiumnitratlösungen.
- 348007 (1919), Kl. 40a, 17. Albert Strasser, Rorschach, Schweiz, Verfahren zum Reinigen von Aluminium.
- 348905 (1915), Kl. 12m. Dr. Max Buchner, Heidelberg, Verfahren zur Herstellung von Metallhydroxyd.
- 349436 (1920), Kl. 12i. Armour Fertilizer Works, Chicago, V. St. A., Verfahren zur Herstellung von Aluminiumstickstoff.
- 350764 (1919), Kl. 40b. Joh. Zufall, Gießen, Zinklegierung mit 1 Proz. Al, 1,8 Proz. Cu, 4,9 Proz. Sn und 8,2 Proz. Pb.
- 351340 (1920), Kl. 22g, 7. Fritz Neumeyer, Nürnberg, Besonders für blanke Metalle bestimmtes Schutzüberzugsmittel (Innenschutz für Fenagtuben).
- 351411 (1920), Kl. 40c, 16. Wilh. Neumann, Bitterfeld, Verfahren zur elektrothermischen Gewinnung von Zn, Ca, Al, Si und ähnlichen Elementen.
- 351739 (1921), Kl. 40b. Siegmund Henlein und Ernst Molkentin, Berlin, Verfahren zur Herstellung von Aluminiumlegierungen.
- 352028 (1920), Kl. 40b, 1. Max Brose & Co., Metalllegierung für ärztliche und zahnärztliche Zwecke aus 75 Proz. Cu, 10 Proz. Ag, 9 Proz. Ni und 6 Proz. Al.
- 352297 (1918), Kl. 12h, 2. Chemische Fabrik Griesheim-Elektron, Verfahren zur Herstellung von Elektroden aus Braunkohle.
- 352880 (1921), Kl. 49f, 15. Friedr. Stark und Nicolaus Weichert, Griesheim, Verfahren zum Verlöten von Aluminium mit Aluminium und zum Schließen durchlöcherter Aluminiumgegenstände mittels Zinn.
- 353285 (1918), Kl. 12h. Höganäs Billesholms Aktiebolag, Helsingborg, Schweden, Verfahren zum Brennen von Kohleelektroden.
- 354280 (1920), Kl. 48b, 9. Internationale Generale Electric Co., New York, Verfahren, Metalle durch Oberflächenlegierung unoxydierbar zu machen.
- 354670 (1920), Kl. 49f, 15. John Dean Racine, V. St. A., Verfahren zur Herstellung eines Überzugs von Zinn und dergleichen auf Aluminium mittels eines Reibers, der die Oxydhaut zerstört.
- 354977 (1919), Kl. 40b. Metallbank und Metallurgische Gesellschaft, A.-G., Frankfurt a. M., Verfahren zur Herstellung von Metall-

legierungen mit Hilfe einer Zwischenlegierung, z. B. Al-Ba-Legierung mit Hilfe von BaPb- oder AlMg-Legierung mit Hilfe von PbMg-Legierung.

- 355 185 (1917), Kl. 21g. Spezialfabrik für Aluminiumspulen und -leitungen, G. m. b. H., Berlin, Verfahren zur Herstellung elektrischer Spulen aus oxydierten Drähten oder Bändern von Aluminium oder dessen Legierungen [Zusatz zu Pat. 356 700 (1918)].
- 355 301 (1921), Kl. 12m. Schweizerische Sodafabrik, Zurzach, Schweiz, Verfahren zur Herstellung von Aluminiumoxyd.
- 355 302 (1916), Kl. 12m, 6. Metallbank und Metallurgische Gesellschaft, A.-G., Frankfurt a. M., Verfahren zur Gewinnung von Tonerde durch Umwandlung des Tonerdegehalts eines Tonerde und Kieselsäure enthaltenden Stoffes in lösliches Alkalialuminat und des Kieselsäuregehalts in unlösliches Calciumsilikat.
- 355 303 (1918), Kl. 12m, 7. Rhenania, Verein chemischer Fabriken, A.-G., Mannheim, Verfahren zur Trennung von Aluminiumverbindungen von anderen Stoffen, insbesondere Eisenverbindungen.
- 355 497 (1920), Kl. 40b, 1. Hugh Spencer Copper, Cleveland, Ohio, V. St. A., Metallegierung aus Ni, Zn, Al, Si mit oder ohne Zusatz einer oder mehrerer Metalle der Chromgruppe (W, Mo, Cr, U) (Aluminium 0,5 bis 12 Proz.).
- 355 850 (1920), Kl. 12m, 7. Det Norske Aktieselskab for Elektrokemisk-Industri, Norsk Industri Hypotekbank, Christiania, Verfahren zur Fällung des Eisens aus eisenhaltigen Tonerdelösungen.
- 356 529 (1921), Kl. 40a, 17. Eugen Strasser, Rorschach, Schweiz, Vorrichtung zum Raffinieren von Aluminium.
- 357 446 (1920), Kl. 40b, 1. Fritz Neumeyer, A.-G., Nürnberg, Verfahren zur Ausbesserung gebrochener Spiralbohrer und dergleichen Legierung aus 90 Proz. Zn, 3 Proz. Al, 2 Proz. Cu, 5 Proz. zu gleichen Teilen Fe, Sb, Pb, Sn.
- 357 899 (1920), Kl. 12i, 29. Société Générale des Nitrures, Paris, Verfahren zur Herstellung von Nitriden.
- 357 900 (1919), Kl. 12m. Chemische Fabrik Griesheim-Elektron, Verfahren zur Gewinnung fast eisenfreier Aluminiumverbindungen aus eisenhaltigen Tonerdelösungen.
- 358 525 (1921), Kl. 19a, 26. Th. Goldschmidt, A.-G., Essen, Verfahren zum Verschweißen von Straßenbahnschienen (Thermitprozeß, Zusatz zu Pat. 282 527).
- 358 542 (1921), Kl. 40b, 1. Rolls Royce Ltd., Derby, England, Verfahren zur Herstellung von Metallegierungen und zum Raffinieren von Metallen und Legierungen, z. B. Al-Mg-Zn-Legierung. Die Zusatzmetalle (Zwischenlegierung) werden in einem mit Öl überzogenen Zustand eingeführt.
- 358 723 (1921), Kl. 31c, 23. Almerico Riccio, Neapel, Italien, Verfahren zur Herstellung von hohlen Gegenständen (aus Aluminium) durch Gießen.
- 358 833 (1920), Kl. 40b, 1. Dr. Ing. Karl Bornemann und Dipl.-Ing. Max Schmidt, Breslau, Verfahren zur Enteisung von eisenhaltigem Hartzink.
- 358 834 (1921), Kl. 40b, 3. Dr.-Ing. Karl Bornemann, Breslau, Verfahren zur Entfernung von Aluminium und Eisen aus den Legierungen mit Zink.

318 Patentliste zur Aluminiumgewinnung und -verarbeitung.

- 359624 (1920), Kl. 31c, 25. Aluminium Works Ltd., Johannesburg, Transvaal, Zweiteilige Gießform zur Herstellung von Pfannen oder dergleichen aus Aluminium.
- 360005 (1920), Kl. 40b, 1. Metallwerk Max Brose & Co., Coburg, Metallegierung für ärztliche und zahnärztliche Zwecke (75 Proz. Ni, 17 Proz. Cr, 2 Proz. Al, 5 Proz. Cu und 1 Proz. Ag).
- 360038 (1920), Kl. 12i, 29. Société Générale des Nitrures, Paris, Verfahren zur Herstellung von Aluminiumstickstoff oder komplexen Aluminiumstickstoff enthaltenden Nitriden.
- 360201 (1919), Kl. 12m. Dr. Ludwig Hess, Berlin-Britz, Verfahren zum Aufschließen von Tonen, wie Kaolin, mit Ammoniumsulfat oder Ammoniumkaliumsulfat.
- 360650 (1920), Kl. 12n, 1. Gehe & Co., A.-G., Dresden, Verfahren zur Herstellung eines Quecksilberchlorür, Aluminiumoxychlorid und Aluminiumhydroxyd in kolloidaler Form enthaltenden Gemenges durch Einwirkung von metallischem Aluminium auf Quecksilberchlorid.
- 360818 (1920), Kl. 40a, 17. Chemische Fabrik Griesheim-Elektron, Verfahren zur Rückgewinnung von Leichtmetall aus Spänen von der Metallbearbeitung, der Gießerei und anderen Arten.
- 361086 (1919), Kl. 40b, 1. Chemische Fabrik Griesheim-Elektron, Mehrstofflegierungen des Magnesiums (mit Aluminium usw.).
- 361408 (1921), Kl. 49i, 3. Aladar Pacz, V. St. A., Verfahren zur Herstellung von Aluminiumpulver.
- 361430 (1920). Isabellenhütte Dillenburg, Silberlegierungen (mit Gehalt an Mn und Al, Mn und Si).
- 361959 (1921), Kl. 12m, 7. Gian Alberto Blanc, Rom, Verfahren zur Abscheidung des Chloraluminiums und Kaliumchlorids aus einem durch Behandlung von Leucit mit Salzsäure erhaltenen Lösungsgemisch [Zusatzpatent 379511 (1922)].
- 361982 (1921), Kl. 49b, 2. Ernst Molkentín und Max Weitzel, Berlin, Verfahren zur Herstellung eines Aluminiumleichtmetalls (Zusatz zu Pat. 314999).
- 362182 (1921), Kl. 48c, 1. Kalmar Warga, V. St. A., Verfahren zur Herstellung vielfarbiger Verzierungen auf Aluminium enthaltenden Metallgegenständen.
- 362350 (1915), Kl. 78e, 2. Sprengluftgesellschaft m. b. H., Berlin, Zünder für mit verflüssigten Gasen gesättigte Patronen (Zündpille aus Bariumnitrat, Schwefel und Aluminiumpulver).
- 362911 (1919), Kl. 40b. Luftschiffbau Zeppelin und Max Losch, Aluminiumlegierung für Gußstücke.
- 363127 (1920), Kl. 40b. Metallbank und Metallurgische Gesellschaft, Frankfurt a. M., Bleilegierung, der außer Ba und Mg auch Al zugesetzt wird (Zusatz zu Pat. 363125).
- 363130 (1920), Kl. 40b. A. Lavandeyra, V. St. A., Aluminiumlegierung (Cu-, ZnNiMg-haltig).
- 363131 (1921), Kl. 40b. Max Loss, Chemnitz, Verfahren zum Legieren von Aluminium mit hochschmelzenden Metallen.
- 363383 (1921), Kl. 31c, 23. Ernst Molkentín und Max Weitzel, Berlin, Gießverfahren für Aluminium und Aluminiumlegierungen.
- 364484 (1920), Kl. 49f, 14. Franz Jos. Neuer, Pforzheim, Lothilfs-werkzeug zum Verzinnen und Weichlöten von Aluminium.

- 364 740 (1921), Kl. 40b, 6. Gerhard Berger und Werner Kühne, Halle a. d. S., Verfahren zur Herstellung von metallischem Aluminium aus natürlichen Tonen [Zusatz zum D. R.-P. 379 627 (1922)].
- 364 931 (1921), Kl. 40b, 3. Martin Bornemann, Karl Richard Bornemann, Ernst Bornemann, Breslau, Verfahren zur Aluminium- bzw. Eisenentfernung aus Zink-Aluminium- bzw. Zink-Eisenlegierungen.
- 365 124 (1919), Kl. 49f, 15. Angel Mirete Ayala, Madrid, Spanien, Aluminiumlötmittel.
- 365 348 (1918), Kl. 12m. Det Norske for Elektrokemisk Industri, Industri Norsk Hypotekbank, Verfahren zur Darstellung eisenarmer Aluminiumverbindungen (aus Aluminiumsilikaten).
- 367 498 (1922), Kl. 31c, 25. Metallhütte Baer & Co., Verfahren und Vorrichtung zum Gießen von Zentrifugentöpfen aus Leichtmetall mit Bronzestücken, wie bei der Herstellung von Kunstfäden üblich.
- 367 597 (1919), Kl. 40b, 2. Metallbank und Metallurgische Gesellschaft, Frankfurt a. M., Aluminium-Siliciumlegierung.
- 367 767 (1920), Kl. 12i. Société Générale des Nitrures, Paris, Verfahren zur Bindung von Stickstoff mittels Ferroaluminium.
- 368 124 (1919), Kl. 48c, 3. Kalmar Warga, V. St. A., Verfahren zum Überziehen von Platten aus Aluminium oder Aluminiumlegierung mit einer glasartigen Schicht.
- 368 650 (1917), Kl. 12m. J. D. Riedel, Berlin-Britz, Verfahren zur Gewinnung von Ammoniumaluminatsulfat aus eisenhaltiger Aluminiumsulfatlösung.
- 368 694 (1922), Kl. 31c, 25. Peter Junk, Aluminiumgießerei, Offenbach, Verfahren zur Herstellung dampfdichter Vulkanisiermulden aus Aluminiumguß.
- 369 233 (1920), Kl. 12m, 6. Chemische Fabrik Griesheim-Elektron, Verfahren zur Herstellung von Tonerde aus Tonerdesilikaten.
- 369 826 (1916), Kl. 12m. Wilh. Boehm, Berlin, Verfahren zur Herstellung von Tonerde.
- 372 250 (1920), Kl. 48b, 10. Internationale Generale Electric Co. Incorporated, New York, Verfahren zur Erzeugung eines Schutzüberzugs auf oxydierbaren Metallen usw.
- 372 660 (1922), Kl. 31c, 23. Max Loss, Reichenbrand b. Chemnitz. Verfahren zum Vergießen von Aluminium in erhitzten Eisenformen.
- 372 743 (1921), Kl. 48b, 9. Nicolaus Meurer, A.-G., Berlin-Tempelhof, Verfahren zur Verhinderung des Verschlackens von Roststäben, Rostflächen usw. (durch Auftragen von Aluminium mittels Spritzmetallisierung).
- 373 678 (1921), Kl. 40b. Meeraner Metallwerk Oschatz & Flechsig, Meerane, Sa., Silberähnliche Metallegierung, bestehend aus 53 bis 56 Proz. Cu, 2 bis 3 Proz. Co, 1 bis 4 Proz. Mn, 10 bis 12 Proz. Ni, 2,5 bis 4 Proz. Fe, 20 bis 25 Proz. Zn, 2 bis 3 Proz. Al.
- 374 117 (1922), Kl. 49f, 18. Aluminium-Guß- und Schweißwerk, A.-G., Forbach b. Stuttgart, Schweißpulver zum Schweißen, Schmelzen und Löten von Aluminium.
- 374 323 (1921), Kl. 40b, 1. Franz Ringel, Berlin-Friedenau, Insbesondere für Spritz- und Kokillenguß geeignete Zinklegierung.
- 374 585 (1921), Kl. 40a, 50. Jack Hissink, Charlottenburg, Verfahren zur Gewinnung von Aluminium aus (tonerdehaltigen) Eisenerzen.
- 375 244 (1920), Kl. 40b. Metallbank und Metallurgische Gesellschaft, Frankfurt a. M., Zinklegierung mit Al oder statt Al oder neben ihm

320 Patentliste zur Aluminiumgewinnung und -verarbeitung.

- Cu, Mn, Ni, daneben aber auch Li oder Be, Sr, K, Na, Ca, Ba einzeln oder mehrere zugleich.
- 376342 (1922), Kl. 31c, 26. Wilh. Gerlach, Frankfurt a. M., Vorrichtung zum Gießen von Gegenständen aus Metall (Aluminium, Aluminiumlegierungen usw.) unter Verwendung von Preßluft.
- 376717 (1920), Kl. 12m, 7. Dr. Ludwig Hess, Berlin-Britz, Verfahren zur Gewinnung von Aluminiumalaun aus Sulfataufschlüssen von Tonerdemineralien.
- 376903 (1922), Kl. 48a, 2. Karl Förster, Hamburg, Verfahren zur Erzeugung galvanischer Überzüge auf Metallegierungen (der Leichtmetalle).
- 377664 (1922), Kl. 12m. Dr.-Ing. E. Collett, Christiania, Verfahren zur Herstellung von Aluminaten und Tonerde.
- 378651 (1922), Kl. 48b, 9. Aug. Passalacqua, Paris, Dekapierungspaste und Verfahren zum Verzinnen von Metallen, insbesondere von Aluminium.
- 379560 (1922), Kl. 79f, 15. Aug. Passalacqua, Paris, Lötmedium (für Aluminium).
- 380234 (1919), Kl. 12 m. Aktieselskapet Norsk Aluminium Co., Christiania, Verfahren zur Herstellung von Tonerde unter Aufschluß von Ton mit Schwefelsäure.
- 381348 (1920), Kl. 12m. Dr. Hans Platsch, Zschernowitz b. Bitterfeld, Verfahren zur Gewinnung eisenfreier Tonerde (aus Vogelsbergbauxiten).
- 381527 (1916), Kl. 40b. Metallbank und Metallurgische Gesellschaft, Frankfurt a. M., Verfahren zur Herstellung von Bleilegierungen mit Ca, Na, Be, Sr, gekennzeichnet durch den Zusatz von Aluminium.
- 381980 (1922), Kl. 49f, 15. Rudolf Krahl und Heinrich Klaukien, Lot für Aluminiumguß.
- 382258 (1922), Kl. 49f, 15. Dr. Leopold Rostosky, Berlin, Lot von Aluminium (Firinit).
- 383434 (1921), Kl. 12m. Dr. Paul Askenasy und Dipl.-Ing. Max Dreifuss, Karlsruhe, Verfahren zur Herstellung von Tonerde durch Reduktion von Aluminiumsulfat.
- 383435 (1922), Kl. 12m. Dr. W. Schumacher, Verfahren zur Herstellung von Tonerdesulfat aus tonerdehaltigen Stoffen.
- 383892 (1921), Kl. 18b, 20. Otto Reissmann, Großröhrsdorf, Sa., Nichtrostende, hitzebeständige Eisen-Aluminium-Nickellegierung.
- 384864 (1922), Kl. 31c, 23. Deutsche Ölfeuerungswerke Karl Schmidt, Neckarsulm, Aluminiumhaltige Gießform für Leichtmetalle.
- 385413 (1921), Kl. 40b. Chemische Fabrik Griesheim-Elektron, Magnesiumlegierungen für Kolben für Verbrennungsmaschinen mit Cu, Al, Sn zur Erhöhung des Schmelzpunkts auf mehr als 400°C und mit Härtemitteln Ca und Li weniger als 2 Proz.
- 386177 (1922), Kl. 49f, 15. Metallbank und Metallurgische Gesellschaft, Frankfurt a. M., Aluminiumlot.
- 386361 (1918), Kl. 40b, 2. Metallbank und Metallurgische Gesellschaft, Frankfurt a. M., Aluminium Berylliumlegierungen.
- 386614 (1922), Kl. 12m, 7. J. D. Riedel, Berlin-Britz, Verfahren zur Aufschließung von tonerdehaltigen Mineralien.
- 387278 (1921), Kl. 40b. Chemische Fabrik Griesheim-Elektron, Magnesiumlegierungen nach Art der Elektronmetalle mit Zusatz von Ca (0,08 bis 0,5 Proz.).

- 388 168 (1916), Kl. 12b. Dr. Max Buchner, Verfahren zur Herstellung reiner Tonerde.
- 388 573 (1921), Kl. 49f, 15. Dr. Wolfgang Günther Melzer, Hannover, Verbinden von Aluminium.
- 388 626 (1922), Kl. 21g, 10. Patent-Treuhandgesellschaft für elektrische Glühlampen m. b. H., Berlin, Kondensator, dessen leitende Belege aus Aluminiumfolie bestehen.
- 388 820 (1921), Kl. 31c, 25. Rudolf Rautenbach, Solingen, Mehrteiliger Metallkern zum Gießen von Kolben aus Aluminium.
- 388 996 (1920), Kl. 12m. Dr. Ludwig Hess, Berlin-Britz, Verfahren zum Aufschließen von Kaolin, Tonen, tonerdehaltigen Mineralien.
- 389 657 (1922), Kl. 40c, 4. Chemische Fabrik Kalk-Köln, G. m. b. H. und Dr. Herm. Oehm, Verfahren zur Herstellung von asche-freiem Koks für metallurgische Zwecke (Elektrodenkohle für Aluminiumfabrikation).
- 389 779 (1923), Kl. 31c, 25. Wilh. Oehlmann, Hannover-Kleefeld, Bleibende Gießform für Namensschilder und dergleichen, vorzugsweise aus Leichtmetall, wie Aluminiumlegierungen.
- 390 886 (1921), Kl. 49f, 15. Fritz Stumpf, Köln, Löten von Aluminium („Huerco“).
- 391 636 (1923), Kl. 40b, 1. Dr. Adolf Fenchel, Düsseldorf, Legierung von Cu, Ag, Au, Al, Fe, Ni, Zn, Sn (zusammen 80 Proz. und mehr, außerdem 20 Proz. oder weniger Tellur).
- 392 598 (1922), Kl. 48b, 9. Niedersachsenwerk, A.-G., Lamspringe, Prov. Hannover, Verfahren zur Herstellung von Metallüberzügen auf Aluminium (durch Ansieden).
- 393 698 (1921), Kl. 40b, 2. Aluminium-Industrie Neuhausen, Schweiz, Aluminiumlegierung hoher Festigkeit (2 bis 6 Proz. Cu, 1 bis 4 Proz. Fe).
- 394 018 (1922), Kl. 31c, 25. Rudolf Rautenbach, Solingen, Mehrteiliger Metallkern zum Gießen von Kolben aus Aluminium.
- 394 531 (1923), Kl. 31a, 23. Adolf Steiner, Berlin, Gußform für Spritzguß (Cr-Ni-Überzug galvanisch hergestellt).
- 394 712 (1923), Kl. 31c, 23. Aluminium-Industrie Neuhausen, Schweiz, Verstellbare Gußform für Walzbarren aus Aluminium und seine Legierungen.
- 394 816 (1923), Kl. 48b, 9. Erftwerk, A.-G., Grevenbroich, Niederrhein, Verfahren zur Herstellung festhaftender Metallüberzüge auf Aluminium und Aluminiumlegierungen.
- 396 210 (1920), Kl. 7b, 10. Fenagtubenfabrik, G. m. b. H., Nürnberg, Verfahren zum Kaltspritzen von Tuben und Röhren aus Aluminium.
- 396 728 (1923), Kl. 31c, 25. Hugo Wegerhoff, Kleinhammer b. Werdohl, Gußpreßverfahren für Aluminiumgegenstände.
- 397 242 (1922), Kl. 49f, 8. Robert Hopfelt, Hamburg, Aluminiumschweißverfahren.
- 399 026 (1922), Kl. 40b. Dr. Wilh. Guertler, Charlottenburg, Aluminiumlegierung mit Boriden, Carbiden und Siliciden des Mn, Fe, Co, Ni und Cu.
- 399 454 (1916), Kl. 40a, 50. Weaver Co., Milwaukee, V. St. A., Verfahren und Vorrichtung zum Aufschließen von Ton.
- 399 693 (1922), Kl. 40c, 13. Ed. A. Ashcraft, London, Darstellung von Leichtmetallen durch Schmelzflußelektrolyse.

322 Patentliste zur Aluminiumgewinnung und -verarbeitung.

- 400179 (1923), Kl. 75c, 29. Nic. Meurer, Berlin-Tempelhof, Verfahren zur Verdichtung des Gefüges von nach dem Spritzverfahren hergestellten Überzügen aus Aluminium.
- 404362 (1922). Herm. Schultz, Essen a. d. Ruhr, Tiegel für aluminothermische Reaktionen.
- 406063 (1920), Kl. 12m, 6. Dr. Paul Askenasy und Dipl.-Ing. Max Dreifuss, Karlsruhe, Verfahren zur Herstellung reiner Tonerde aus Aluminiumsulfat durch Behandlung mit reduzierenden Mitteln.
- 406350 (1922), Kl. 48a, 6. Pierre Alexandre Govaert, Polydore Matth. Wenmaekers, Belgien, Verfahren zum Niederschlagen von Kupfer-, Silber- oder Bleilegierungen durch Elektrolyse, namentlich auf Eisen oder Aluminium.
- 406770 (1921), Kl. 40b, 1. Allgemeine deutsche Metallwerke Berlin-Oberschönevide, Aluminium-Kupfer-Zinklegierung mit 2 Proz. Al, 10 Proz. Ni, 2 Proz. Fe und 3 Proz. Mn.
- 407719 (1923), Kl. 31c, 23. Robert Schwarz, Charlottenburg, Aluminiumspritzguß (galvanisch mit Kobalt überzogen).
- 407728 (1924), Kl. 31c, 16. Theod. Zeise, Verfahren zur Erzeugung einer feuerbeständigen Oberfläche auf Gußstücken mit Hilfe von Aluminium.
- 407927 (1922), Kl. 40c, 16. Ture Robert Haglund, Stockholm, Verfahren zur Herstellung von Aluminium, Silicium oder Legierungen dieser Stoffe (elektrothermisch).
- 408408 (1923), Kl. 48a, 2. Karl Jul. Foerster, Hamburg. Verfahren zur Erzeugung galvanischer Überzüge auf Leichtmetallen (auftragen einer Zwischenschicht durch Metallspritzverfahren).
- 408547 (1924), Kl. 48a, 2. Karl Jul. Foerster, Hamburg, Verfahren zum Vernickeln, Versilbern usw. von Gegenständen aus Leichtmetall oder solches enthaltenden Legierungen.
- 409288 (1924), Kl. 31c, 25. Deutsche Ölfeuerungswerke Karl Schmidt, Neckarsulm, Mehrteilige Kerne zur Herstellung von Hohlkörpern, besonders von Motorkolben (aus Leichtmetall).
- 409431 (1924), Kl. 40c, 6. Ed. A. Ashcraft, London, Verfahren zur Darstellung von leichten Metallen durch Schmelzflußelektrolyse.

Deutsche Industrie-Normen. DIN VDE 8200.

Elektrotechnik

Drähte zu Starkstrom-Freileitungen

nach DIN VDE 8201.

Bezeichnung eines Drahtes von 3 mm Durchmesser aus Hartkupfer:

Hartkupferdraht 3 VDE 8200

Durchmesser in mm		Zuglast ¹⁾ in kg ²⁾		Widerstand in Ω/km bei 20° C Größtwert		Gewicht kg/1000 m ≈	
Nennwert	Zulässige Abweichungen	Kupfer	Aluminium	Kupfer	Aluminium	Kupfer	Aluminium
1,35	± 0,05	60	—	12,7	—	12,74	—
1,7	± 0,05	90	41	8,0	14	20,20	6,20
1,8	± 0,05	100	46	7,15	12,5	22,65	6,95
2,1	± 0,06	140	63	5,25	9,0	30,83	9,46
2,25	± 0,06	160	72	4,6	7,9	35,39	10,85
2,5	± 0,06	200	88	3,7	6,4	43,69	13,40
2,75	± 0,06	240	—	3,1	—	52,86	—
2,8	± 0,06	250	111	3,0	5,0	54,81	16,81
3	± 0,06	270	127	2,6	4,4	62,91	19,30
3,55	± 0,08	380	—	1,85	—	88,09	—
4,5	± 0,08	600	—	1,15	—	141,55	—

¹⁾ Die Zuglast soll mindestens 1 min wirken, ohne zum Bruch zu führen.

²⁾ Die Werte sind unter Zugrundelegung eines mittleren Wertes von 40 kg/mm² für Kupfer und 18 kg/mm² für Aluminium errechnet.

Bei Verwendung sind die „Vorschriften für Starkstrom-Freileitungen“ des VDE zugrunde zu legen.

Die Drähte sollen beim Zugversuch in Form eines ausgeprägten Fließkegels zerreißen (vgl. „Vorschriften für Starkstrom-Freileitungen“ des VDE).

Werkstoff: Hartkupfer nach DIN VDE 500, gezogen.

Aluminium nach DIN VDE 501, gezogen.

Spezifisches Gewicht für Kupfer zu 8,9; für Aluminium zu 2,73 angenommen.

Über die Verwendung von anderen Werkstoffen, z. B. Stahl, Doppelmetalle, sowie Legierungen wie Bronze usw. siehe die „Vorschriften für Starkstrom-Freileitungen“ des VDE.

Juli 1925. 2. Ausg. (geändert). Verband Deutscher Elektrotechniker E. V.

Wiedergabe erfolgt mit Genehmigung des Normenausschusses der Deutschen Industrie.
Verbindlich für die vorstehenden Angaben bleiben die Dinormen.

Deutsche Industrie-Normen. DIN VDE 8201.

Elektrotechnik

Drähte und Seile für Starkstrom-Freileitungen.

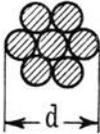


Leitungsdrähte.

Bezeichnung eines Leitungsdrahtes von 10 mm² Querschnitt aus Kupfer:
Leitungsdraht 10 VDE 8201 Kupfer.

Querschnitt mm ²		Durchmesser d	Gewicht kg/1000 m ≈
Nennwert	Istwert	mm	Kupfer
6	5,9	2,75	52,86
10	9,9	3,55	88,09
16	15,9	4,5	141,55

Drähte nach DIN VDE 8200.



Leitungsseile.

Bezeichnung eines 7drätigen Leitungsseiles von 50 mm² Querschnitt aus Kupfer:
Leitungsseil 7drätig 50 VDE 8201 Kupfer.

Querschnitt mm ²		Drähte nach DIN VDE 8200		Seil- durchmesser d	Gewichte ¹⁾ kg/1000 m	
Nennwert	Istwert	Anzahl	Durchm.	Nennwert	Kupfer	Aluminium
10	10	7	1,35	4,1	von 84 bis 99	—
16	15,9	7	1,7	5,1	„ 135 „ 155	von 41 bis 47
25	24,2	7	2,1	6,3	„ 206 „ 235	„ 63 „ 72
35	34	7	2,5	7,5	„ 295 „ 330	„ 91 „ 101
50	49	7	3	9	„ 430 „ 475	„ 132 „ 144
	48	19	1,8	9	„ 413 „ 470	„ 127 „ 144
70	66	19	2,1	10,5	„ 562 „ 644	„ 170 „ 195
95	93	19	2,5	12,5	„ 802 „ 905	„ 245 „ 275
120	117	19	2,8	14	„ 1018 „ 1130	„ 310 „ 340
150	147	37	2,25	15,8	„ 1265 „ 1435	„ 385 „ 440
185	182	37	2,5	17,5	„ 1570 „ 1765	„ 480 „ 535
240	228	37	2,8	19,6	„ 1975 „ 2200	„ 605 „ 670
	243	61	2,25	20,3	„ 2080 „ 2360	„ 635 „ 720
300	299	61	2,5	22,5	„ 2590 „ 2900	„ 790 „ 885

1) Die untere Grenze ist berechnet für: — Toleranz der Drähte und 14fachen Drall, die obere Grenze für + Toleranz der Drähte und 11fachen Drall.

Schlaglänge 11 bis 14 × Seildurchmesser, Schlagrichtung beliebig.

Bei Verwendung sind die „Vorschriften für Starkstrom-Freileitungen“ des VDE zugrunde zu legen.

Werkstoff: Hartkupfer nach DIN VDE 500, gezogen; Aluminium nach DIN VDE 501, gezogen.

Spezifisches Gewicht für Kupfer zu 8,9; für Aluminium zu 2,73 angenommen.

Über die Verwendung von anderen Werkstoffen, z. B. Stahl, Doppelmetalle, sowie Legierungen wie Bronze usw. siehe die „Vorschriften für Starkstrom-Freileitungen des VDE.“

Juli 1925. 2. Ausg. (geändert). Verband Deutscher Elektrotechniker E. V.

Wiedergabe erfolgt mit Genehmigung des Normenausschusses der Deutschen Industrie.
Verbindlich für die vorstehenden Angaben bleiben die Dinormen.

Deutsche Industrie-Normen. DIN 1753.

Aluminiumblech, kalt gewalzt, handelsüblich.

Bezeichnung einer kalt gewalzten Aluminiumblechtafel von 1,2 mm Dicke, etwa 700 mm Fabrikationsbreite, in Fabrikationslänge aus Reinaluminium Al 98/99:

Aluminiumblech 1,2 × etwa 700 in Fabrikationslänge DIN 1753 Al 98/99.

Bezeichnung einer kalt gewalzten Aluminiumblechtafel von 1,2 mm Dicke, 780 mm Breite und 2000 mm fester Länge aus Reinaluminium Al 98/99:

Aluminiumblech 1,2 × 780 × 2000 fest DIN 1753 Al 98/99.

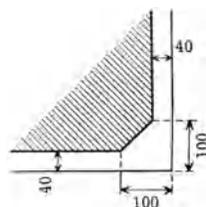
mm										
	Dicke				Breite		Länge		Gewicht kg/m ² ~	Dicke
	Zulässige Abweichung bei Breiten von				Fabrikationsbreite	Feste Breite	Fabrikationslänge	Feste Länge		
	350 bis 500	350 bis 600	über 600 bis 750	über 750 bis 1000						
0,2	+ 0,015	—	—	—	Bestellte Ungefährbreiten gelten mit einer Toleranz von plus 10 minus 50 mm	Nur innerhalb der angegebenen Breiten.	Durchschnittlich 2 m, mindestens 1 m, höchstens 3 m	Zulässige Abweichung + 10 mm	0,55	0,2
0,25	+ 0,02	—	—	—					0,68	0,25
0,3	+ 0,02	—	—	—					0,82	0,3
0,35	+ 0,03	—	—	—					0,96	0,35
0,4	+ 0,03	—	—	—					1,09	0,4
0,45	—	+ 0,035	—	—					1,23	0,45
0,5	—	+ 0,035	+ 0,05	—					1,37	0,5
0,6	—	+ 0,035	+ 0,05	—					1,64	0,6
0,7	—	+ 0,035	+ 0,05	—					1,91	0,7
0,8	—	+ 0,04	+ 0,05	—					2,18	0,8
0,9	—	+ 0,04	+ 0,06	—					2,46	0,9
1	—	+ 0,04	+ 0,06	+ 0,08					2,73	1
1,1	—	+ 0,04	+ 0,07	+ 0,09					3,00	1,1
1,2	—	+ 0,04	+ 0,07	+ 0,09					3,28	1,2
1,3	—	+ 0,05	+ 0,07	+ 0,09					3,55	1,3
1,4	—	+ 0,05	+ 0,07	+ 0,09					3,82	1,4
1,5	—	+ 0,05	+ 0,07	+ 0,09					4,09	1,5
1,8	—	+ 0,06	+ 0,09	+ 0,11	4,91	1,8				
2	—	+ 0,06	+ 0,09	+ 0,11	5,46	2				
2,2	—	+ 0,06	+ 0,09	+ 0,11	6,01	2,2				
2,5	—	+ 0,08	+ 0,11	+ 0,13	6,83	2,5				
3	—	+ 0,08	+ 0,11	+ 0,13	8,19	3				
3,5	—	+ 0,10	+ 0,13	+ 0,15	9,55	3,5				
4	—	+ 0,10	+ 0,13	+ 0,15	10,92	4				
4,5	—	+ 0,12	+ 0,15	+ 0,17	12,28	4,5				
5	—	+ 0,12	+ 0,15	+ 0,17	13,65	5				

Werkstoff: Reinaluminium nach DIN 1712.

Spezifisches Gewicht: 2,73. Die Gewichtstabellen des Aluminiumwalzwerksverbandes enthalten etwas höhere Gewichtswerte, da in diesen mit Rücksicht auf die verschiedenen Dicken der Bleche in der Mitte und am Rande ein Durchschnittsgewicht von 2,75 kg für 1 m² Fläche und 1 mm Dicke angenommen wurde.

Anlieferungszustand: walzblank, in flachen Tafeln. Lieferung in Rollen erfolgt nur auf besondere Vereinbarung.

Dickenmessung: Die Meßpunkte sollen mindestens 100 mm von den Ecken und 40 mm von den Kanten entfernt bleiben, d. h. innerhalb der schraffierten Fläche der Skizze liegen.



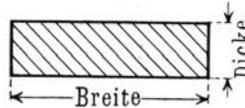
Juli 1925. Fachnormenausschuß für Halbzeug aus Nichteisen-Metallen.

Wiedergabe erfolgt mit Genehmigung des Normenausschusses der Deutschen Industrie. Verbindlich für die vorstehenden Angaben bleiben die Dinormen.

Deutsche Industrie-Normen. DIN 1769.

Flachaluminium,

gezogen mit scharfen Kanten.



Bezeichnung von gezogenem Flachaluminium Al 98/99 mit 10 mm Breite und 4 mm Dicke
aus Reinaluminium Al 98/99:

Flachaluminium 10 × 4 DIN 1769 Al 98/99.

mm

Breite × Dicke	Zulässige Abweichungen		Quer- schnitt mm ²	Gewicht kg/m ≈	Breite × Dicke	Zulässige Abweichungen		Quer- schnitt mm ²	Gewicht kg/m ≈
	Breite	Dicke				Breite	Dicke		
5 × 2	± 0,08	+ 0,05	10	0,027	18 × 2	± 0,12	+ 0,05	36	0,098
		+ 0,06	15	0,041			+ 0,08	90	0,25
		+ 0,08	20	0,055			+ 0,10	144	0,39
6 × 2	± 0,08	+ 0,05	12	0,033	20 × 2	± 0,15	+ 0,10	180	0,49
		+ 0,06	18	0,049			+ 0,05	40	0,11
		+ 0,08	24	0,066			+ 0,08	100	0,27
8 × 2	± 0,10	+ 0,05	16	0,044	8	± 0,15	+ 0,10	160	0,44
		+ 0,06	24	0,066			+ 0,10	200	0,55
		+ 0,08	32	0,087			+ 0,12	300	0,82
10 × 2	± 0,10	+ 0,08	40	0,11	15	± 0,15	+ 0,06	75	0,20
		+ 0,05	20	0,055			+ 0,08	125	0,34
		+ 0,06	30	0,082			+ 0,10	200	0,55
12 × 2	± 0,10	+ 0,08	40	0,11	10	± 0,15	+ 0,10	250	0,68
		+ 0,08	50	0,14			+ 0,12	375	1,02
		+ 0,10	80	0,22			+ 0,06	90	0,25
15 × 2	± 0,12	+ 0,05	24	0,066	5	± 0,15	+ 0,08	150	0,41
		+ 0,06	36	0,098			+ 0,10	240	0,66
		+ 0,08	48	0,13			+ 0,10	300	0,82
15 × 2	± 0,12	+ 0,08	60	0,16	10	± 0,20	+ 0,12	450	1,23
		+ 0,10	96	0,26			+ 0,12	600	1,64
		+ 0,05	30	0,082			+ 0,15	800	2,18
15 × 2	± 0,12	+ 0,06	45	0,12	5	± 0,20	+ 0,08	250	0,68
		+ 0,08	75	0,20			+ 0,10	400	1,09
		+ 0,10	120	0,33			+ 0,10	500	1,36
15 × 2	± 0,12	+ 0,10	150	0,41	10	± 0,20	+ 0,10	500	1,36
							+ 0,12	750	2,05
							+ 0,15	1000	2,73

Werkstoff: Reinaluminium nach DIN 1712.

Spezifisches Gewicht 2,73.

Lieferart: in Stangen von 2 bis 4 m.

Flachaluminium, gepreßt mit gerundeten Kanten, siehe DIN 1770.

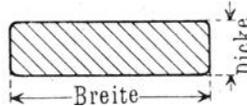
Juli 1925. Fachnormenausschuß für Halbzeug aus Nichtisen-Metallen.

Wiedergabe erfolgt mit Genehmigung des Normenausschusses der Deutschen Industrie.
Verbindlich für die vorstehenden Angaben bleiben die Dinormen.

Deutsche Industrie-Normen. DIN 1770.

Flachaluminium,

gepreßt mit gerundeten Kanten.



Bezeichnung von gepreßtem Flachaluminium Al 98/99 mit 10 mm Breite und 4 mm Dicke aus Reinaluminium Al 98/99:

Flachaluminium 10 × 4 DIN 1770 Al 98/99.

mm

Breite × Dicke	Zulässige Abweichungen		Querschnitt mm ²	Gewicht kg/m ≈	Breite × Dicke	Zulässige Abweichungen		Querschnitt mm ²	Gewicht kg/m ≈
	Breite	Dicke				Breite	Dicke		
10 × 3	± 0,30	+ 0,20	30	0,082	30 × 10	± 0,50	+ 0,30	300	0,82
		+ 0,25	40	0,11			+ 0,40	450	1,23
		+ 0,25	50	0,14		± 0,60	+ 0,40	600	1,64
		+ 0,30	80	0,22			+ 0,50	800	2,18
12 × 3	± 0,40	+ 0,20	36	0,098	50 × 5	± 0,60	+ 0,25	250	0,68
		+ 0,25	48	0,13			+ 0,30	400	1,09
		+ 0,25	60	0,16			+ 0,30	500	1,36
		+ 0,30	96	0,26			+ 0,40	750	2,05
15 × 3	± 0,40	+ 0,20	45	0,12	60 × 5	± 0,80	+ 0,50	1000	2,73
		+ 0,25	75	0,20			+ 0,25	300	0,82
		+ 0,30	120	0,33			+ 0,30	480	1,31
		+ 0,30	150	0,41			+ 0,30	600	1,64
18 × 5	± 0,40	+ 0,25	90	0,25	80 × 8	± 0,80	+ 0,40	900	2,46
		+ 0,30	144	0,39			+ 0,50	1200	3,28
		+ 0,30	180	0,49			+ 0,30	640	1,75
		+ 0,30	180	0,49			+ 0,30	800	2,18
20 × 5	± 0,50	+ 0,25	100	0,27	100 × 10	± 1	+ 0,40	1200	3,28
		+ 0,30	160	0,44			+ 0,30	800	2,18
		+ 0,30	200	0,55			+ 0,40	1000	2,73
		+ 0,40	300	0,82			+ 0,50	1600	4,37
25 × 5	± 0,50	+ 0,25	125	0,34	120 × 10	± 1	+ 0,30	1000	2,73
		+ 0,30	200	0,55			+ 0,40	1500	4,09
		+ 0,30	250	0,68			+ 0,50	2000	5,46
		+ 0,40	375	1,02			+ 0,30	1200	3,28
30 × 5	± 0,50	+ 0,25	150	0,41	20	± 1	+ 0,40	1800	4,91
		+ 0,30	240	0,66			+ 0,50	2400	6,55

Werkstoff: Reinaluminium nach DIN 1712.

Spezifisches Gewicht: 2,73.

Lieferart: in Stangen von 2 bis 4 m.

Flachaluminium, gezogen mit scharfen Kanten, siehe DIN 1769.

Juli 1925. Fachnormenausschuß für Halbzeug aus Nichteisen-Metallen.

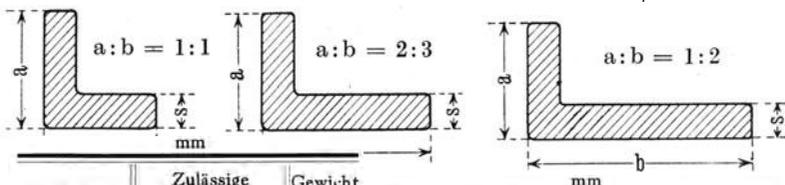
Wiedergabe erfolgt mit Genehmigung des Normenausschusses der Deutschen Industrie.
Verbindlich für die vorstehenden Angaben bleiben die Dinormen.

Deutsche Industrie-Normen. DIN 1771.

Winkelaluminium, gepreßt mit gerundeten Kanten.

Bezeichnung von gepreßtem Winkelaluminium Al 98/99 mit 20 mm Schenkellänge und 4 mm Schenkeldicke aus Reinaluminium Al 98/99:

Winkelaluminium 20 × 20 × 4 DIN 1771 Al 98/99.



a × b × s	Zulässige Abweichungen		Gewicht kg/m ≈
	a und b	s	
10 × 10 × 2	± 0,30	+ 0,15	0,098
3		+ 0,20	0,14
12 × 12 × 2	± 0,40	+ 0,15	0,12
3		+ 0,20	0,17
15 × 15 × 2	± 0,40	+ 0,15	0,15
3		+ 0,20	0,22
20 × 20 × 2	± 0,50	+ 0,15	0,21
3		+ 0,20	0,30
25 × 25 × 2	± 0,50	+ 0,25	0,39
4		+ 0,15	0,26
30 × 30 × 2	± 0,50	+ 0,20	0,38
3		+ 0,25	0,50
35 × 35 × 2	± 0,60	+ 0,25	0,61
4		+ 0,15	0,32
40 × 40 × 2	± 0,60	+ 0,20	0,47
3		+ 0,25	0,61
45 × 45 × 2	± 0,60	+ 0,25	0,75
4		+ 0,15	0,37
50 × 50 × 2	± 0,60	+ 0,20	0,55
3		+ 0,25	0,72
55 × 55 × 2	± 0,60	+ 0,25	0,89
4		+ 0,25	1,05
60 × 60 × 2	± 0,80	+ 0,15	0,43
3		+ 0,20	0,63
65 × 65 × 2	± 0,80	+ 0,25	0,83
4		+ 0,25	1,02
70 × 70 × 2	± 0,80	+ 0,25	1,21
3		+ 0,25	1,05
75 × 75 × 2	± 0,80	+ 0,25	1,29
4		+ 0,25	1,54
80 × 80 × 2	± 0,80	+ 0,25	1,27
3		+ 0,25	1,57
85 × 85 × 2	± 0,80	+ 0,25	1,87
4		+ 0,25	

a × b × s	Zulässige Abweichungen			Gewicht kg/m ≈
	a	b	s	
15 × 20 × 2	± 0,40	± 0,50	+ 0,15	0,18
3			+ 0,20	0,26
20 × 30 × 2	± 0,50	± 0,50	+ 0,25	0,34
4			+ 0,15	0,26
25 × 40 × 2	± 0,50	± 0,50	+ 0,20	0,38
3			+ 0,25	0,50
30 × 45 × 2	± 0,50	± 0,60	+ 0,25	0,61
4			+ 0,15	0,40
35 × 45 × 2	± 0,50	± 0,60	+ 0,20	0,59
3			+ 0,25	0,77
40 × 45 × 2	± 0,50	± 0,60	+ 0,25	0,95
4			+ 0,25	1,14

a × b × s	Zulässige Abweichungen			Gewicht kg/m ≈
	a	b	c	
10 × 20 × 2	± 0,30	± 0,50	+ 0,15	0,15
3			+ 0,20	0,22
15 × 30 × 2	± 0,40	± 0,50	+ 0,25	0,28
4			+ 0,15	0,23
20 × 40 × 2	± 0,50	± 0,60	+ 0,20	0,34
3			+ 0,25	0,45
25 × 50 × 2	± 0,50	± 0,60	+ 0,15	0,32
4			+ 0,20	0,47
30 × 50 × 2	± 0,50	± 0,60	+ 0,25	0,61
3			+ 0,25	0,75
35 × 50 × 2	± 0,50	± 0,60	+ 0,15	0,40
4			+ 0,20	0,59
40 × 50 × 2	± 0,50	± 0,60	+ 0,25	0,77
4			+ 0,25	0,95

Werkstoff: Reinaluminium nach DIN 1712. Spez. Gewicht: 2,73.
Lieferart: in Längen von 2 bis 4 m.

Juli 1925. Fachnormenausschuß für Halbzeug aus Nichteisen-Metallen.

Wiedergabe erfolgt mit Genehmigung des Normenausschusses der Deutschen Industrie.
Verbindlich für die vorstehenden Angaben bleiben die Dinormen.

Namenverzeichnis.

- Ackermann, Dr. W. 220.
Allen, T. van 269.
Allg. Elektr.-Ges. (AEG) Berlin 237.
Aluminium Co. of America 33.
Aluminium Ore Products Co. 34.
Anderson 150.
Andrews 273.
Anglo-Norwegian Al. Co. 34.
Arndt, Pr. Dr. Kurt u. Kalass 117.
d'Arsenval 113.
Askenasy, P. Prof. 26, 55, 57, 70, 107, 290.
Askenasy u. Dreifuss 65.
Askenasy u. Gerber 68.
Ayala, Angel Mirete 221.
- Bacon, R. 10.
Baer & Co. 157, 239, 269.
Basse & Selve 128, 176.
Bauer, Prof. 165, 219.
Bauer, W. & Co. 178.
Bauschinger, Prof. 147.
Bayer, K. J. 46, 48, 51.
Bayliss, Th. Abr. u. Bayron, G. Clark 177.
Beck, Dir. d. Dürener Metallwerke 182.
Beckethoff 17.
Bell, Th. 19.
Berg, Karl A.-G., Werdohl 257.
Berger, Gerhard u. Werner Kühne 57.
Bergius, H., & Co., Goldschmieden 79.
Beringer, Chr. Aug. 54.
Bernard, Gebr. 32.
Berthaut 20.
Berthier 6.
Berthelot 273.
Berzelius 15.
Betts 135.
Borchers 18, 21, 26, 28, 29, 66.
Borchers u. Barth 135.
- Borchers u. Schirmeister 202.
Bornemann, Prof. K. 172, 178.
Bornemann u. Schmidt 276.
Bourdon u. Grube 190.
Bottome, D. 263.
Blanc, Dr. Gian Alberto 56.
Bradley, Chr. 26.
Breiling, Dr., Felten & Guillaume, Karlswerk, Köln-Mühlheim 257.
British Al. Co. 32.
Brose, Max, Metallwerk 203.
Buchner, Max 60.
Bunsen, Rob. Wilh., 13, 14, 56, 109, 287.
Butziger, A., & Co., A.-G. für Aluminiumveredlung, Zwenkau 243/245.
- Calvert u. Johnson 155.
Canac, Marie 243.
Carbone, Vittorio 241.
Carpenter 178.
Castner 32.
Chatelier, Le 42, 147, 178.
Churchill, H. 200.
Classen & Co 223 (Fludor).
Clemm, Dr. 54.
Colombo Vitaliano 265.
Comp. des Produits Chimiques d'Alais et de la Camargue 31.
Contigesellschaft (Konzelmann u. Schulz) 223.
Cooper Hugh Spencer 203.
Cowles, Gebr. Lockport 27, 29, 31.
Cowles, Syndicate Co., Milton b. Stoke on Trent. 192.
Curry 178.
Curtius, F. u. Co. 52.
Czoehrański 190.
- Dankwardt 57.
Davy 10, 19.
Debray 16, 31.
Devarda 280.

- Deville, St. Claire 12, 13, 14, 15,
 19, 21, 31, 145, 197.
 Dow Chemical Co., Midland 195.
 Dumas 15.

 Eckelt, I. L., Berlin 80.
 Edwards, I. D. 178, 199.
 Electric Smelting & Al. Co. 32.
 Elektro-Osmose-Ges. (Graf Schwe-
 rin A.-G.) 52.
 Ertzwerk, Grevenbroich 36, 241,
 Erkelens, van 208.
 Escales 274.

 Faraday 153.
 Favre u. Silvermann 177.
 Felten & Guillaume, Köln-Mühl-
 heim 257.
 Ferro-Nickel, Le A.-G., Paris 180.
 Fickes, E. S., Pittsburgh 52.
 Fischer, Prof. Franz 169.
 Fleischer 67.
 Fleissner 67.
 Flusin 103, 128.
 Fogh 12.
 Fraenkel 198.
 Frary 200.
 Frilley 198.
 Frischer, H., Zehlendorf 60.
 Fritsch, Kötschenbroda 268.

 Gardner 239.
 Gay-Lussac-Thenard 15.
 Gekawerk, Dr. Gottl. Krebs,
 Offenbach 274.
 Giuliani, Gebr. 36.
 Gillet u. Schnee 135.
 Goldenberg, Elektrizitätswerk 36.
 Goldmerstein, Leon 199.
 Goldschmidt, H. I. 58, 164.
 Goldschmidt, Dr. Hans 273.
 Goldschmidt, Th., A.-G. Essen
 177, 201.
 Goldschmidt, Prof. Victor, Chri-
 stiania 6.
 Goldschmidt-Weil 276.
 Götting, Fr. 241.
 Grabau 32.
 Graetz 160, 263.
 Greenwood 154.
 Griesheim-Elektron, Chemische
 Fabrik, A.-G. 35.
 Grotthuss, Freiherr von 245.

 Guertler, Prof. 188.
 Guillet 178, 198, 207, 242
 Gwyer 145, 178, 197.

 Haber 127.
 Haber u. Geipert 102, 109.
 Hall, Chr. M. 26, 29.
 Hall, H. M. 239.
 Hanson u. Gayler 190.
 Hardanger Electrical Iron & Steel
 Co. 34.
 Harrassowitz 8.
 Heddernheimer Kupfer- u. Süd-
 deutsche Kabelwerke, Frank-
 furt a. M. 176, 257.
 Heibling, I. 62.
 Heinz, Alfred 265.
 Hemelingen, Aluminium- und
 Magnesiumfabrik 17, 32.
 Hempel 248.
 Henlein, Siegmund 180.
 Heraeus, W. C. 201.
 Héroult 23, 24, 25, 32.
 Hess, K. 63, 138.
 Heyn, Prof. 167.
 Hiller, Dr. techn. 71.
 Hiller, Obering. 258.
 Hirsch, F. u. Russ 52.
 Hirsch, Kupfer- und Messingwerke
 245.
 Hirzel, A. 171.
 Hofer, Andreas 168.
 Hoffmann 12.
 Hopfelt, Rob. 234, 261.
 A. S. Hoyang, Faldene Norsk Al.
 Co. 34.
 Humann & Teisler, Dohna 79.
 Humbold, Maschinenbauanstalt,
 Köln-Kalk 177.
 Höganäs Bellesholms Aktiebolag
 57.

 Iklé, Louis 265.
 Innkraftwerk b. Mühldorf 36.
 Isabellenhütte 209.

 Jacquier, Gaston 180.
 Jahr, E. 264.
 Jakob, Dr. Max 266.
 Jander u. Weber 140.
 Jequier, Ganterswil 147.
 Jette, Phragmen u. Westgren 178.
 Jordan 267.

- Joule 273.
 Junk, Peter, Offenbach 252.
 Junker, Brilon 295.
 Junkers 184.
- Keep 279.
 Kiliani, Martin 23, 24, 25, 26,
 105, 287.
 Knapsack, Kraftwerk 31.
 Koert, Dr. 6.
 Kohler, Brüssel 292.
 Kohn-Abrest 154.
 Krall, Rud. u. Klaukien, Heinr. 221.
 Krause, Erich u. Wendt, Bruno
 280.
 Krupp A.-G. 203.
 Krupp-Gruson 262.
 Kuhn, Otto, Gebhardt, Rob. u.
 Grabert, Heinr. 223.
 Kätne 268.
- Lang, Dr., Karlsruhe 237.
 Langbein - Pfannhauser Werke
 A. - G., Sellerhausen - Leipzig
 242, 245.
 Langley 269.
 Lantschl 149.
 Lauber, Dr., Neher & Co., Alu-
 miniumwalzwerk, Singen 253.
 Laue, von 145.
 Lautawerk 36, 202.
 Lavandeyra 180.
 Ledebur 176.
 Legget 134.
 Liebig, Justus 12.
 Lippmann 269.
 Lodin 143.
 Losch, Max 185.
 Loss, Max 180.
 Lunge, Prof. Dr. 46.
- Mach, Ludwig 191.
 Makowka, Dr. 224.
 Manhart 180.
 Manricheau 280.
 Meiser, Franz 94.
 Meiser, Karl Fr. 129.
 Meiser u. Escherich 94.
 Mellen, J. S. u. W. 180.
 Mendheim 93.
 Merle & Co. 31.
 Mershon, New York 170.
 Metallbank u. Metallurg. Ges.,
 Frankfurt a. M. 196, 223.
- Meurer, Nikolaus, A.-G., Berlin
 271.
 Minet 32, 197.
 Moldenhauer 166.
 Molкетин, Ernst 180.
 Morin 16, 31, 42.
 Moskopp 165.
 Moenen 267.
 Müller, Dr. Hans 54.
 Mylius, Prof. 166.
- Napoleon III. 14.
 Neufeld & Kuhnke, Kiel 248.
 Neuhausen, Aluminiumindustrie,
 A.-G. 18, 32.
 Neyreneuf 263.
 Niedersachsenwerk Lamspringe
 A.-G. 241.
 Nodon 264.
 Norsk, Aluminium Co. 34.
 Norske, Aktieselskab for Elektro-
 kemisk-Ind. 58.
 Norwegische Nitrat-A.-G. 34.
- Oehme, Dr. 86.
 Oeresund Chemisk Fabriker 80.
 Oerstedt 11, 283.
 Oettel 82, 126.
 Ohmenhäuser, Ernst 227.
 d'Or, Wilh. 197.
 Ormiston, Harry 180.
 Oschatz & Flechsig 209.
 Otis-Handy 139.
- Pacz, Aladar 198, 200.
 Pascal & Jouniaux 111, 115, 116,
 117.
 Passalacqua 227.
 Pattison 177, 207/8.
 Pechiny 31.
 Peltrie, Esnault 179.
 Peicher, Karl 223.
 Penfield-Treadwell-Koch 126.
 Peniakoff 54, 55.
 Percy 15.
 Pieschel, Osw. 239.
 Pittsburgh, Reduct. Co. 33.
 Pollak 263.
- Racine, John Dean 221.
 Rassow 146.
 Rathenau, Emil 123.
 Raynaud, F. 53.
 Reisholz, Kraftwerk 36.

- Reissmann 204.
 Rheinfelden, Aluminiumwerk 35.
 Rhein.-Westf. Elektrizitätswerk 36.
 Richards 109, 112, 160.
 Riedel, I. D., A.-G., Berlin-Britz 63.
 Ringel, Franz 209.
 Rinmann 62, 63.
 Rinne 7.
 Roberts 198.
 Roger-Jourdain 162.
 Rogers 273.
 Rose 21, 145.
 Rosenhain & Archbutt 174.
 Rostosky, Dr. 126/7.
 Roth, G., A.-G., Felixdorf b. Wien 274.
 Rousseau 16, 31, 128.
 Ruff & Goecke 154.
 Samson, Gebr. 157.
 Sander, Wilmar u. Hindert, Peter 155.
 Schad & Gabler 223.
 Scherrer 145.
 Schiele & Bruchsaler 268.
 Schirmeister 198.
 Schnauss 274.
 Scholz 254.
 Schöniger & Fischer 238.
 Schoop 229.
 Schrader 169.
 Schumacher, Dr. 65, 238.
 Schupp, Dr. 76.
 Seligmann & Williams 165.
 Serpek, Ottokar 69, 291.
 Siemens-Halske A.-G. 266.
 Siemens & Schuckertwerke A.-G. 233.
 Siemens, Chr. W. 25.
 Smalley 208.
 U. S. Smelting Refining and Mining Co., Kenneth 282.
 Societa Italiana Fabricazione dell Alumine, Turin 35.
 Société l'Aluminium Francais 35.
 Société d'Aluminium du Sud-Est b. Neste 35.
 Société d'Electrochimie b. Bourg (Kanton Wallis) 35.
 Société Electrometallurgique du Sud-Est 35.
 Société Elektrometallurgique Française (Froges) 32.
 Société Industrielle de l'Aluminium et des Alliages 32.
 Société des Forces Motrices et Usines de l'Arve 32.
 Société des Produits Electrochimique et Electrometallurgique des Pyrenées 34.
 Société des Nitrures 32.
 Southern Aluminium Company 34.
 Spezialfabrik für Aluminiumspulen und -leitungen 262.
 Stangfjordens Chemisker Fabrikken, Bergen 34.
 Stark und Wichert 221.
 Steflitschek 264.
 Stern & Hafferl, A.-G., Steeg b. Geisern, Elektrizitätswerk 35.
 Stock, R., & Co. 178.
 Stockdale, Dav. 178.
 Strasser 234.
 Strauss 273.
 Studien- u. Verwertungsgesellsch. „Leichtmetall“, München 185, 258.
 Stumpf 226.
 Tassily 243.
 The Iron Age 195.
 Thomas, Dr. 193.
 Thomsen 102, 273.
 Timor, Dagobert 265.
 Tissier, A. 171.
 Tissier, Gebr. C. u. A. 17, 197.
 Trautmann 73.
 Trepsch 169.
 Tumler & Co., Dresden 247.
 Uhlmann, Alfred 179.
 Uyene Sadamasa 267, 279.
 Vauquelin 15.
 Veit, I. 181.
 Velde 146.
 Vereinigte Aluminiumwerke A.-G. 36.
 Vickers Sons & Maxim 182.
 Vigouroux & Arrivaut 197.
 Vogel und Bauer 174, 239.
 Vogelsanger 235.
 Volta 10.
 Walter, Rich. 138.
 Warga, Kalman 238.

- | | |
|---|--|
| <p>Wattenberg, von 154.
 Weinlandt, C. 254.
 Wetzell u. Konarsky 198.
 Wheatstone 161.
 Winteler 59, 110, 115, 127, 142.
 Wislicenus u. Kaufmann 280.
 Wogrinz 242.
 Wolfener Farbenfabrik A.-G. für
 Anilinfarben 220.</p> | <p>Woods 273.
 Wurtz 17.
 Wüst 219.
 Wöhler, Fr., 12, 13, 14, 170, 197,
 287.
 Zeerleder 204.
 Zurzach, Schweizerische Soda-
 fabrik 53.</p> |
|---|--|

Sachverzeichnis.

- | | |
|--|---|
| <p>Acieral 171.
 Ätznatron, Bestimmung von — 76
 Alabama 7.
 Alaska 7.
 Alaun 15, 102.
 Aldradraht 262.
 Alit 204.
 Alitieren 269.
 Alkalien (schmelzende feste) 162.
 Alkalisilikate 162.
 Alkohol 168.
 Allot 222.
 Almandin 58.
 Alpax 200.
 Aludur 187, 258.
 —, Eigenschaften 259.
 —, vgl. mit Handelsaluminium u.
 Kupfer 259.
 Alumin 222.
 Aluminiumbronzen als Anstrich-
 farben 272.
 Aluminium
 — -asche 141.
 — -armaturen 259.
 — zum Trocknen von Äther und
 Alkohol 280.
 — in der Bäckerei 147.
 — aus Bauxit 6.
 — -bearbeitung und deren Er-
 forschung 289.
 — -bestimmung 72, 82.
 — — nach Trautmann 73.
 — -blech 253.
 — -bronze 209, 255.
 —, in der Brauerei und Brennerei
 251.</p> | <p>Aluminium
 — -brokat 272.
 —, im Buchdruck und der Litho-
 graphie 272.
 — -cerlegierung 135.
 —, chemisches Verhalten des —
 161ff.
 — in der chemischen Industrie 251.
 — -chlorid (wasserfrei) 11.
 — -darstellung nach Héroult (elek-
 trolytisch) 25.
 nach Oerstedt-Wöhler (che-
 misch) 12.
 nach Bunsen (elektrolytisch)
 13.
 nach Deville (chemisch) 14.
 elektrothermisch 290.
 — -drehstahl 152.
 — -drehspäne für Hydrierung 280.
 — -eigenschaften:
 Dehnbarkeit 147.
 Elastizitätsmodul 147.
 Farbe 144.
 Feingefüge 145.
 feinkörniger Bruch 146.
 Zugfestigkeit 146.
 —, Elektroden zur —gewinnung.
 Beschaffenheit derselben 92.
 Brennen derselben 93.
 —, eines der elektropositivsten Ele-
 mente 161.
 — im Edelmetallbetrieb 251.
 —, elektrotechnische Artikel aus —
 256, 261.
 — zur elektrolytischen Reinigung
 von Metallgegenständen 281.</p> |
|--|---|

Aluminium

- -erzeugung:
 - Anteil der Länder 39.
- , Färben von — 237.
- , Färben mit Kobaltsalzen 237.
- -fertigungs in Sand, in Kokiller 156.
- -flachdruckformen 280.
- für Feuerwehrgerät 248.
- in der Feuerwerkerei 273.
- in der Fleischerei 247.
- im Flugzeugbau 249.
- -fluorid 81.
- -folie 149, 253.
- -forschung 285.
- als Freileitungsmaterial 256.
- in der Galanterie- und Schmuckwarenindustrie 281.
- , Gasringofen für —gewinnung 94.
- im Gastwirtschaftsbetrieb 248.
- in der Galvanotechnik 266.
- -gleichrichter 263.
- , Goldfällung aus Cyaniden durch — 281.
- granulieren 151.
- -gravüre 253.
- -griß 274.
- , Handels— 133.
 - Verunreinigung durch Silicid, Nitrid, Graphit 133.
- , handelsübliche Formen des Rein— 132.
- im Haushalt 247.
- als Hautpulver für Gerbstoffanalyse 281.
- , Herstellungskosten 142.
- -industrie:
 - Entwicklung 28, 31.
 - Großindustrie 31.
- im Instrumentenbau 248.
- , Klang des — 153.
- , Korrosionserscheinungen am — 165.
 - Verhütung derselben 289.
- -material für Kirchenglocken 248.
- , Kleingefüge (Erforschung) 289.
- im Kraftwagenbau 249.
- , elektrischer Kondensator 263.
- aus Labradorstein 6.
- für Lagermetall 250.
- aus Leucit 56.

Aluminium

- , Leitfähigkeit von Handels— 159.
- -leitungen statt Kupferleitungen 160.
- in der Lithographie 272.
- , Lochfraß in —blech 166.
- , Luftschiffbau 249.
- im Maschinenbau 249.
- in der Metallurgie 278.
- -metallspritzverfahren 270.
- in der Molkerei 252.
- in der Möbelindustrie 254.
- im Münzwesen 248.
- , Entstehung des Namens 11.
- -phosphate 5.
- -produktion 1.
 - — 1921 in Deutschland 36.
 - — von Blech 1923 247.
 - — und Preiskurve 27, 28.
- in der Radiotechnik 266.
- , Rohstoffkosten bei der —gewinnung 9.
- in der Röntgentechnik 266.
- im Schiffsbau 249.
- -schienen im Schmelzbad 104.
- -schliff 151.
- -schmelzpunkt 153.
- -schmelzwärme 154.
- -schwelapparat 168.
- -schwindmaß 155.
- -silikat 4.
- -silikataufschluß durch Salpetersäure 57.
 - — durch Schwefelsäure 64.
- -sulfate 62.
- -sulfid 109.
- , Stahl—seil für elektrische Freileitung 257.
- -staub 150.
- , Strompreis für —büten 143.
- -spulen aus blankem Draht 261.
- -spulen für Lastmagnete 263.
- in der Sprengtechnik 273.
- -Spritz-, Preß- und Schleuder- guß 158.
- -tauchapparate 248.
- -trialkylätherate 280.
- , Verbrennungswärme von —verbindungen 161.
- , Veredlungsvorgänge am — 174.
- -vorkommen 2.

- Aluminium
 —, Vulkanisiermulden aus — 252.
 —, Walzbarren 148.
 —, Wärmetisch 254.
 —, Wasserstoffgewinnung durch — 276.
 — zur Weltausstellung 1855 14.
 — -werke in Japan, Rumänien, Jugoslawien im Entstehen 37.
 —, Wiedergewinnung aus —abfällen 136.
 — — Flußspatverfahrer 137.
 — — Puddelverfahren 137.
 — -wolle 275.
 —, Zentrifugentöpfe aus — zur Kunstseidefabrikation 252.
 —, Zukunft der —industrie 3.
 Alunit 6.
 Alzen 171.
 Amethyst 5.
 Amerikanische Legierung 174.
 Ammonal 274.
 Ammoniak (trocken) 162.
 Anagon 275.
 Anodenkohle (Herstellung) 85.
 Antimon 10.
 Argilit 211.
 Autogene Schweißung von Aluminium und -legierungen 230.
 Ayugebirge (Bauxitvorkommen in Togo) 7.

 Bäder, Hintereinanderschalten der — 124.
 Badhöhe 121.
 Badinbetriebnahme 118.
 Badkontrolle 120.
 Badspannung 101.
 Badtemperatur 122.
 Badschmelze 125.
 Barium 10, 162.
 Bauxit, weißer, roter 40.
 Bauxiteinfuhr nach Deutschland 1923 39.
 Bauxitmehl 42.
 Bauxitische Verwitterung 7.
 Bauxitlagerstätten 7.
 —, Erwerb von — 38.
 Bauxitproduktion in den Vereinigten Staaten 39.
 Betriebskontrolle bei der Aluminiumgewinnung 74.
 Belfast (Irland) 7.
 Binäre Legierungen 171.

 Cer 1.
 Chlorate 162.
 Chloride 162.
 Chromalaun 171.
 Chromatisieren 240.
 Chromvanadium 158.
 Cesium 171.
 Contilot 222.
 Cromil 177.

 Dalmatien 7.
 Deutsche Aluminiumlegierung 177.
 Devardasche Legierung 280.
 Dialag 58.
 Diaspor 7.
 Dowmetall 195.
 Duralumin 174.
 Dynamomaschine 20.

 Einbrennen des Aluminiums in die Gießform 157.
 Einbrennlack 268.
 Eisenvitriol 162.
 Eisenproduktion 2.
 Eisenbestimmung 72.
 — nach Otis Handy 139.
 Elektroden-aschegehalt 98.
 — -distanz 100, 120.
 — -presse 91.
 — -untersuchung 98.
 Elektrolyt 108.
 Elektron 192.
 Elektronmotorkolben 195.
 —, technische Festwerte 193.
 —, physikalische Festwerte 193.
 —, Verwendung des —s 192.
 Elemente, chemische
 Häufigkeit in der Erdkruste 3.
 Epidot 58.
 Essigsäure 166.

 Fenagtube 253.
 Fermor 222.
 Ferroaluminium 204.
 Ferrocyanalium 66.
 Firinit 222.
 Fliegerbrandbombe 273.
 Fludor 222.
 Fluellit 5.
 Flußspat 16.
 — -analyse 81.
 — -verluste im Bad 117.
 Formaldehyd 169.
 Formaluminiumpuder 268.
 Fruchtsäure 166.

- Gallium 1.
 „gare“ Schmelze 75.
 Gekawunderkerze 274.
 Georgia 7.
 Gießvorgang 289.
 Glaubersalz 162.
 Glühofen für Petrolkoksgraphi-
 tierung 96.
 Guyana, Holländisch- 7.
 —, Britisch- 7.
- Handelsübliche Formen des Rein-
 aluminiums: Masseln, Walz-
 und Drahtbarren 132.**
 Hautpulver bei Gerbstoffanalyse
 281.
 Hefe 166.
 Heiztransformator 106.
 Héroult-Hall-Patente 33.
 Herkulesbronze 216.
 Heuslerlegierungen 209.
 Huerco 222.
 Hydrargillit 7.
 Hydratanalyse 76.
 Hydrolyse 7.
 Hypersten 58.
 Hämatisierung 7.
- Indien, Britisch- 7.**
 Dr. Inhoffens Aluminiumlot 222.
 Inverelldistrikt 7.
 Istrien 8.
- Jauche, Aluminium beständig
 gegen — 168.**
- Kalabrien 7.**
 Kalialaun 68.
 Kalium 10.
 Kalorisieren 269.
 Kalzinieren 44.
 Kalzium 10.
 Kaolin 6.
 Kaolinisierung 7.
 Kärnten 7.
 Kieselsäurebestimmung 72.
 — im Kryolith 81.
 Kobalt 10.
 Kohlenstoff 162.
 Kohle-Elektroden 84.
 Kohlensäure 166.
 Kohlenstoffbestimmung 140.
 Kokillenfärbung 157.
 Kollergang 87.
 Koltischugaluminium 186.
- Krain 7.
 Krauselium 171.
 Kresole 168.
 Kryolith 5, 35, 78.
 — -analyse 81.
 —, Tonerde Flußspat-Elektrolyt
 112.
 —, Sachaukörper dess. 114.
 Kupfer 168.
 Kupfereinfuhr 1922 287.
- Lanthan 1.**
 Lautal 202.
 Legierung „A“ 177.
 Al-Beryllium 203.
 Al-Kobalt 202.
 Al-Kupfer 178.
 Al-Kupfer-Zink 179.
 Al-Lithium 202.
 Al-Magnesium 190.
 für Motorkolben 177.
 Al-Silicium 196.
 — „5“ 177.
 — „Y“ 185.
 Legierungszusätze Cer, Chrom,
 Mangan, Molybdän, Silicium,
 Tantal, Titan 202.
 „Leichte“ Legierungen 211.
 Legierungen für Spritzguß- und
 Kokillenguß 209.
 Leitfähigkeit der Schmelze 117.
 Leuchtspurpatronen 274.
 Lithium 1.
 Lufteinfluß auf Aluminium 163.
 Lunkerbildung 177.
- Magnesium 171.**
 Magnesium 10.
 Mattieren von Aluminiumober-
 flächen 231.
 Milchsäure 166.
 Metallspritzschweißung nach Hop-
 felt 233.
 Mischkristalle 172.
 Mischmaschinen 88.
 Mitisguß 204.
 Monreylote 222.
 Montanium 171.
 Montenegro 7.
 Moxbriketts 278.
- Natrium 10.**
 — -bestimmung im Reinalumi-
 nium 140.
 Natriumaluminat 43.

- Nickel 10.
 Nickelium 171.
 Niederösterreich 7.
 Nigrosinbad 245.
 Nitroitguß 157.
 Nitrate 62.
 Nitrocellulose 193.
 Normblatt für Aluminiumstarkstromleiter 257, 323, 324.
 Nutsche 44.
- Ofenmaterial** (Eisen, Kohle) 102.
Organische Stoffe nicht sauren oder basischen Charakters 168.
 Osmium 1.
- Partinium** 171.
 Patentstreit Bradley-Hall 29.
 Periodisches System d. Elemente 1.
 Petrolkoks 85.
 Phenole 198.
 Phosphorsäure 166.
 Polieren von Al-Oberflächen 234.
 Propellerbronze 216.
 Pyrometer nach Wanner 277.
- Quecksilber** 10, 162.
 Quecksilbersalze 163.
- Radium** 1.
 Reagens auf richt. Badzusammensetzung 116.
 Reformium 171.
 Reinigen des Aluminiums 234.
 Retortenkoks 85.
 Rhodansalze 162.
 Rohmasseln 119.
 Rohstoffanalyse 71.
 Rosein 216.
 Rotschlamm 43.
 — -analyse 75.
 Rubidium 1.
 Rübelfbronze 216.
- Salpetersäure 166.
 Saphir 5.
 Savoyen 7.
 Schmelze, Aufbereitung eingefrorener — 126.
 Schmelzfarben 238.
 Schmelzkippofen 129.
 Schmirgel 5.
 Schutz gegen Korrosion 239.
- Schwefelammon 162.
 Schwefelkalzium 66.
 Schwefelsäure 166.
 Schwefelwasserstoff 162.
 Schweflige Säure 166.
 Schweißen von Aluminium und -legierungen 228.
 — durch elektrische Widerstandserhitzung (Siemens-Schuckert) 233.
 Schwindmaß 155.
 „Schwere“ Al-Legierungen 216.
 Silber 1, 10.
 Silicium 162.
 Siliciumbestimmung 139.
 Silikonbronze 216.
 Silumin 198.
 —, Eigenschaften des — 201.
 Skleron 202.
 Slavonien 7.
 Smaragd 5.
 Spandauer Legierung 178.
 Spezifisches Gewicht des Elektrolyten 112.
 Spirituosen, Einfluß auf Aluminium 168.
 Stampfwerk 90.
 Steiermark 7.
 Steinbrecher 88.
 Stromdichte 116.
 Stromstärke im Bad 107.
- Tenax** 178.
 Thermit 164, 273.
 — zur Mangan- und Chromgewinnung 276.
 —, Schweißverfahren mit — 277.
 — -zusätze: Barium, Lithium, Kalzium, Silicium, Strontium 277.
- Titanium 171.
 Titanbestimmung 72.
 Ton 4.
 Tonerde 10.
 — aus Aluminiumsilikaten 55.
 —, Analyse der gebrauchsfertigen — 77.
 — aus Bauxit 45.
 —, pyrogenes Verfahren 46.
 —, nasses Verfahren 48.
 —, Impfverfahren 49.
 —, Bayerprozeß 48.
 — -bestimmung im „Reinaluminium“ 140.

- Tonerde
— -gewinnung nach Borchers 68.
— -fabrik 50.
— aus Kaolin 59.
— aus Pfeifenton 59.
— aus Plagioklas 58.
—, Schmelzpunkt 41.
- Veraluminieren 267.
Verchromen 245.
Veredlungsverfahren für Al-Siliciumlegierungen 199.
— nach Wilm 187.
— -zusätze 187.
Vergütbare Aluminiumlegierungen 173/4.
Verkupfern durch Ansieden 241.
Vernickeln 242.
Verzinnen 241.
- Vierstofflegierungen 182.
Vogelsbergbauxit 8.
- Walzvorgang 289.
Wattstunden pro 1 kg Al-Erzeugung 128.
Wechselstrom als Heizstrom bei der Al-Elektrolyse 105/6.
Weidrium 171.
Weinsäure 168.
Wismut 10.
Wochein 7.
Wolframium 171.
Würze 166.
- Zimalium 191.
Zink 10.
Zinkgewinnung 287.
Zinn 10.
Zweistofflegierungen 171.
-