

Herausgegeben von der Deutschen Gesellschaft für Metallkunde im Verein deutscher Ingenieure

Schriftleitung: Professor Dr. W. Guertler und Dipl.-Ing. H. Groeck
Verlag des Vereines deutscher Ingenieure — Berlin NW7
Für den Buchhandel: Verlagsbuchhandlung Gebr. Borntraeger, Berlin W 35

Die Löslichkeit von Gasen im Aluminium.

Von J. Czochralski.

Die Arbeit ist innerhalb des Ausschusses für Aluminium- und Leichtlegierungen der Deutschen Gesellschaft für Metallkunde entstanden. Bestimmung der Gasaufnahme durch geschmolzenes Aluminium, über das in großem Überschuß Stickstoff, Sauerstoff und Luft, Kohlenoxydgas und Kohlen-säure, schweflige Säure, Wasserstoff und Leuchtgas geleitet wurden. Einfluß der Gase auf die mechanischen Eigenschaften und die Walzbarkeit; Schlußfolgerungen für den Betrieb.

Allgemeines.

Einer der größten Übelstände beim Verarbeiten des Aluminiums ist seine Neigung zur Blasenbildung. Die Bestrebungen, diesen Übelstand zu bekämpfen, waren bis jetzt erfolglos. Nicht nur die einheimische Aluminium-Industrie ist davon betroffen, sondern ebenso auch die ausländische. Die Erscheinung dürfte in erster Linie mit Gaseinschlüssen im unmittelbaren Zusammenhang stehen. Es soll daher im folgenden versucht werden, dieser Störungsquelle nachzugehen. Über das Lösungsvermögen des Aluminiums für Gase ist nur wenig bekannt. Planmäßige Untersuchungen fehlen fast ganz. Die Frage der Gaslöslichkeit ist aber für den Betriebsmann von allergrößter Bedeutung. Besonders bei Zwischen- und Fertigerzeugnissen kann durch Bildung von Blasen an der Oberfläche ihre Brauchbarkeit in Frage gestellt werden.

Typische Fälle von Erzeugnissen, die diese Fehler aufweisen, zeigen z. B. Abb. 1 an einem Wasserkessel und Abb. 2 an einem Ausschnitt

in 1,2facher Vergrößerung. Weitere Einzelheiten werden auch bei noch stärkerer Vergrößerung nicht sichtbar, vgl. Abb. 3. Ein Querschnitt durch eine solche Blase ist in Abb. 4 wieder gegeben worden. Durch gemeinsames Auftreten von Gaseinschlüssen und Lunkerräumen kann die schädliche Wirkung noch verstärkt werden; sie äußert sich in der Bildung von Abschieferungen mit Überschiebungen an der Oberfläche. Ein typischer Fall ist in Abb. 5 dargestellt. Die Mängel zeigen sich in der Regel erst, nachdem das Rohmaterial bereits stark heruntergewalzt ist. Über die Aufnahmefähigkeit des Aluminiums für Gase und über ihren schädlichen Einfluß auf die Walzbarkeit haben einige Betriebe bereits bestimmte Vorstellungen; so wird z. B. geglaubt, daß durch Verwendung von Graphittiegeln die Blasenbildung begünstigt werde. Besonders soll dies bei Verwendung neuer Tiegel der Fall sein. In anderen Betrieben vermutet man, daß die gelösten Gase hauptsächlich Was-



Abb. 1. Aluminiumkessel mit Blasen an der Oberfläche.
 $\frac{1}{3}$ nat. Größe.

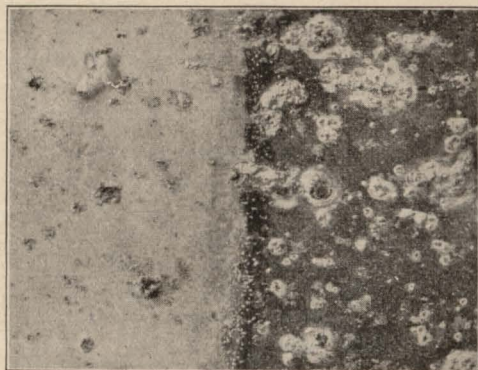


Abb. 2. Innenseite des Kessels, rechte Hälfte geätzt.
 $1,2 \times$ vergr.

serstoff enthalten, in manchen Betrieben verwendet man daher Koksfeuerungen mit stark oxydierender Flamme.

In Anbetracht der großen praktischen Bedeutung, die dieser Frage zukommt, hat die Deutsche Gesellschaft für Metallkunde die Lö-



Abb. 3. Stärkere Vergrößerung aus Abb. 2. $7,2 \times$ vergr.

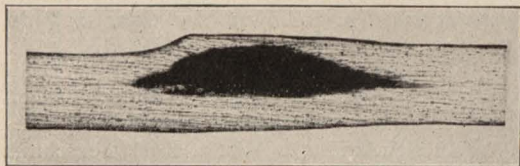


Abb. 4. Querschnitt durch eine Blase. $4,8 \times$ vergr.

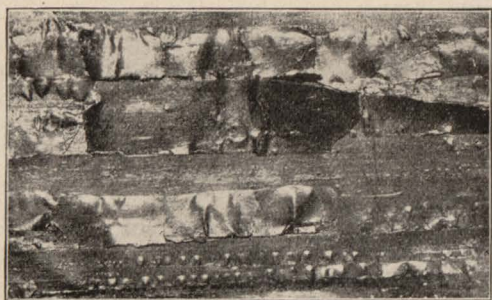


Abb. 5. Aluminiumblech mit Oberflächen-Abschieferungen $4 \times$ vergr.

sung der Aufgabe an die erste Stelle des Arbeitsplanes des Ausschusses für Aluminium und Leichtlegierungen gestellt¹⁾. Dank dem Entgegenkommen der Metallbank und Metallurgischen Gesellschaft, Frankfurt a. Main, wurde es möglich, die Frage einer Lösung näherzubringen.

Versuchsanordnung.

Die ersten Vorversuche lehnten sich an die Arbeiten von Sieverts²⁾ an. Zu diesem Zwecke wurden eigens konstruierte Quarzgläser angefertigt und die Versuche mit sämtlichen in Frage kommenden Gasen durchgeführt. Die auf diese Weise gefundenen Gasmengen waren indes so gering, daß sie weder qualitativ

¹⁾ vergl. Z. f. Metallk., Juniheft 22 S. 275.

²⁾ Z. Elektrochemie, Bd. 16, 1916 S. 707 und Ber. Chem. Ges. Bd. 43 S. 893.

noch quantitativ bestimmt werden konnten. Beim Erstarren des Aluminiums wurden ferner die Versuchsgefäße meist gesprengt; die Schwierigkeiten in der Schaffung geeigneter Versuchsgeräte waren kaum überwindbar. Noch ungünstigere Ergebnisse wurden bei Verwendung hoher Temperaturen erreicht; sie hatten den Zweck, größere Mengen von Gasen in Lösung zu bringen. Die Auswertung der Versuche führte zu völlig widersprechenden Ergebnissen. Von einer wissenschaftlich exakten Bestimmung der gelösten Gase wurde auf Grund dieser Erfahrungen Abstand genommen und statt dessen von einem anderen Verfahren Gebrauch gemacht. Dieses bestand darin, daß Gase in großem Überschuß bei verschiedenen Temperaturen über geschmolzenes Aluminium geleitet wurden. Für die Versuche

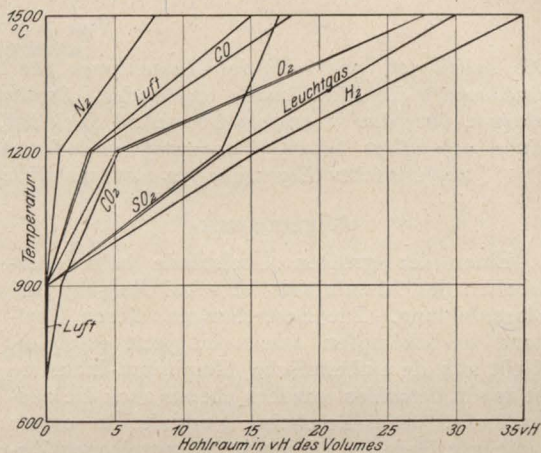


Abb. 6. Aufnahmefähigkeit des Aluminiums für Gase bei verschiedenen Temperaturen.

wurde durchgehend der Tammannofen verwendet. Die Metallmenge betrug bei jedem Versuch 200 g. Das Verfahren baut hauptsächlich auf der Überlegung auf, daß durch die Gegenwart von Gasblasen das spezifische Gewicht des Aluminiums verringert wird. Da sich das Aluminium beim Schmelzen mit einer dichten Oxydhaut überzieht und dadurch das Entweichen von Gasblasen verhindert wird, so schien das Verfahren für die Bestimmung des freigewordenen Gasvolumens brauchbar zu sein. Die so erhaltenen Zahlen wurden dann an den durchschnittlichen Proben durch planimetrische Messungen überprüft. Die Ergebnisse sämtlicher Messungen und die genaueren Versuchsbedingungen sind in der Zahlentafel 1 und dem Schaubild Abb. 6 sowie in Abb. 7 bis 54 niedergelegt worden.

Versuchsergebnisse.

Stickstoff.

Im Schaubild, Abb. 6, in Zahlentafel 1 und in Abb. 7 bis 10 sind die mit Stickstoff erhaltenen Versuchsergebnisse wiedergegeben. Demnach ist das Lösungsvermögen von Aluminium für Stickstoff nur gering. Bis zu einer Tempera-

Zahlentafel I. Einfluß von Gasen auf Aluminium.

Probe Nr.	Ein- wirkungs- temp. ° C 1)	Gasart	Gasvolumen		Abb. Nr.	Mechanische Prüfung						Härte kg/mm ² untere Hälfte obere Hälfte	
			berechnet aus den spez. Gew.	metallogr. bestimmt		Proben ungeglüht		Proben geglüht ¹ / ₂ st bei 400 °		Qualitäts- ziffer ³⁾			
						Zerreiß- festigkeit kg/mm ²	Deh- nung vH	Zerreiß- festigkeit kg/mm ²	Deh- nung vH				
1	650	N ₂	0	—	7 bis 12	—	—	—	—	—	32	32	
2	900		0	—		—	—	—	—	—	33	33	
3	1200		0,4	—		—	—	—	—	—	33	32	
4	1500		3	1,3		25,4	5	12,4	24,3	37	32	28	
5	650	O ₂	0	—	13 bis 18	—	—	—	—	—	36	34	
6	900		0	—		—	—	—	—	—	41	37	
7	1200		2,5	2		—	—	—	—	—	32	31	
7 _a	1350		4	—		21,7	2)	12	29,6	42	32	33	
8	1500		12	15		—	—	—	—	—	31	31	
9	650	Luft	0	—	19 bis 22	—	—	—	—	—	31	32	
10	900		0	—		—	—	—	—	—	33	33	
11	1200		1,3	2		—	—	—	—	—	34	34	
12	1500		6	7,5		22,2	2)	12,2	30,5	43	33	32	
13	650	CO	0	—	23 bis 26	—	—	—	—	—	34	34	
14	900		0	—		—	—	—	—	—	33	32	
15	1200		1,3	1,3		—	—	—	—	—	35	33	
16	1500		8	6		22,2	2)	11,4	25	36	31	31	
17	650	CO ₂	0	—	27 bis 31	—	—	—	—	—	32	32	
18	900		0,4	0,6		—	—	—	—	—	31	30	
19	1200		2,5	1,3		—	—	—	—	—	31	32	
20	1500		12	14		Im Einspannkopf gebrochen		12,7	16,7	29	32	33	
21	650	SO ₂	0	—	32 bis 36	—	—	—	—	—	30	30	
22	900		0	—		—	—	—	—	—	32	32	
23	1200		5,4	4		—	—	—	—	—	28	30	
24	1500		7	8		25,4	5	12	25	37	25	27	
25	650	H ₂	0	—	37 bis 40	—	—	—	—	—	32	32	
26	900		0	—		—	—	—	—	—	33	31	
27	1200		6,5	5		—	—	—	—	—	33	32	
28	1500		15	13		23,5	3,5	12,7	26,7	39	35	33	
29	650	Leucht- gas	0	—	41 bis 44	—	—	—	—	—	34	33	
30	900		0	—		—	—	—	—	—	33	33	
31	1200		5,5	6		—	—	—	—	—	32	31	
32	1500		12,5	12,5		25,8	5	12,9	26	39	36	35	

1) Einwirkungs-dauer 20 min, Kohletiegel.

2) außerhalb der Meßlänge gebrochen.

3) ZerreiBfestigkeit + Dehnung.

tur von 900 ° C war es nicht möglich, eine Stickstoffaufnahme festzustellen. Dagegen war bei 1200 ° und 1500 ° die Gasaufnahme bereits so beträchtlich, daß bei Probe 3 (1200 °) der Stickstoff 1 vH des Volumens oder bei Reduktion wegen der Ausdehnung der Gase rd. 0,4 vH des Volumens, bei Probe 4 (1500 °) rd. 7,4 vH des Volumens (reduziert 3,0 vH des Volumens) einnahm, vergl. Abb. 6. Die Ergebnisse stehen in Übereinstimmung mit dem Flächenanteil der Hohlräume in den durchgeschnittenen Proben. In Abb. 7 und 8 (Probe 1 und 2) konnten noch keinerlei Gaseinschlüsse ermittelt werden, eben-

sowenig in Abb. 9 (Probe 3), obwohl diese Probe dem spezifischen Gewicht nach bereits 0,4 vH des Volumens an Gas aufgenommen hatte. Die Gasmenge ist so klein, daß nur mikroskopisch feine Poren im Querschnitt nachgewiesen werden können. Die Probe 4 ergibt gemäß Abb. 10 in guter Übereinstimmung mit der Bestimmung des spezifischen Gewichts beim Ausplanimetrieren einen Flächenanteil der Gasblasen von rd. 7 vH.

Neben dem elementar gelösten Stickstoff wird aber auch noch ein Teil des Stickstoffs chemisch als Nitrid (AlN) gebunden, was auch bereits von

Aluminium unter verschiedenen Gasen geschmolzen.

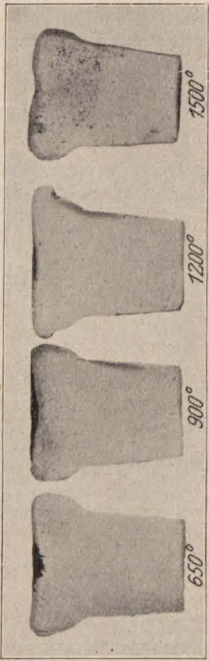


Abb. 7 bis 10. Stickstoff. Proben 1 bis 4. rd. $\frac{1}{2}$ nat. Größe.

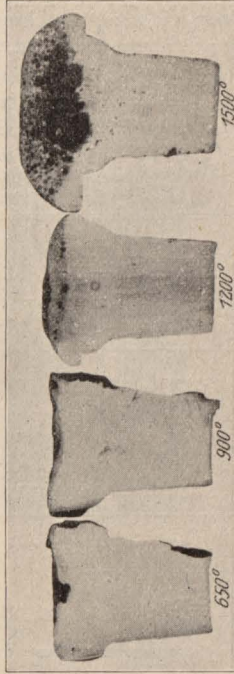


Abb. 13 bis 16. Sauerstoff. Proben 5 bis 8. rd. $\frac{1}{2}$ nat. Größe.

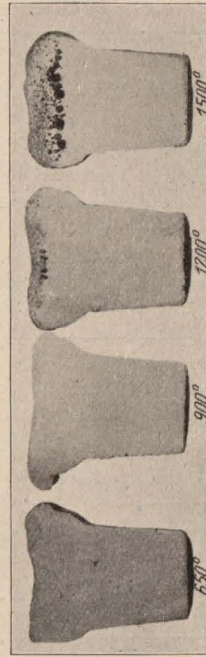


Abb. 19 bis 22. Luft. Proben 9 bis 12. rd. $\frac{1}{2}$ nat. Größe.

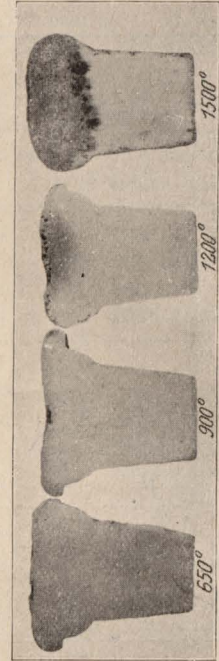


Abb. 23 bis 26. Kohlenoxydgas. Proben 13 bis 16. rd. $\frac{1}{2}$ nat. Größe.

Sieverts festgestellt worden ist. Im Gefüge zeigt sich der gebundene Stickstoff in Form von Einschlüssen, die den Tonerdeinschlüssen sehr ähneln; ihre Unterscheidung ist demnach sehr schwierig. Der mikroskopische Befund bedarf daher auch stets einer analytischen Überprüfung. In Abb. 11 sind solche Nitrideinschlüsse wiedergegeben. Sie gleichen im großen und ganzen den Tonerdeinschlüssen und unterscheiden sich von den Karbideinschlüssen vielfach durch radiale Bildungsformen. Häufig treten auch die

Einschlüsse in farnkrautartiger Ausbildung auf, wie dies Abb. 12 veranschaulicht. Der Gehalt der Proben an gebundenem Stickstoff wurde analytisch mit 0,004 vH im Innern der Probe, mit 0,038 vH im Gekrätz bestimmt. Das ergibt einen durchschnittlichen Flächenanteil von 0,012 vH, was in Übereinstimmung mit dem metallographischen Befund steht. Neben dem elementar gelösten Stickstoff ist diese Menge indes nur verschwindend klein, so daß sie bei der Berechnung des spezifischen Gewichts nicht

Aluminium unter verschiedenen Gasen geschmolzen.

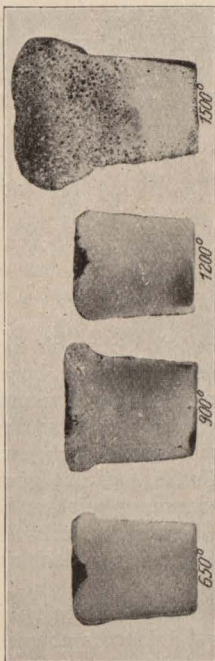


Abb. 27 bis 30. Kohlensäure. Proben 17 bis 20. rd. $\frac{1}{2}$ nat. Größe.

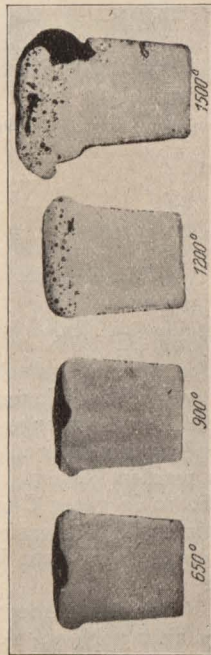


Abb. 32 bis 35. Schweflige Säure. Proben 21 bis 24. rd. $\frac{1}{2}$ nat. Größe.

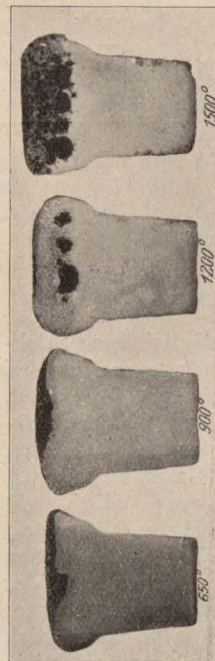


Abb. 37 bis 40. Sauerstoff. Proben 25 bis 28. rd. $\frac{1}{2}$ nat. Größe.

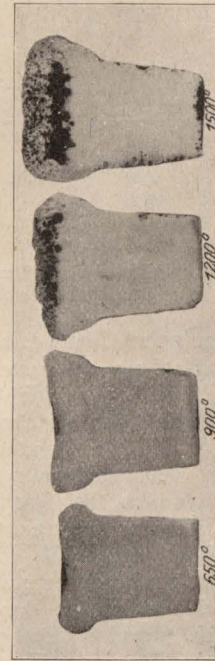


Abb. 41 bis 44. Leuchtgas. Proben 29 bis 32. rd. $\frac{1}{2}$ nat. Größe.

berücksichtigt zu werden braucht. Die Nitrideinschlüsse bilden offenbar keinen phasentheoretisch begründeten Gefügebestandteil, sondern

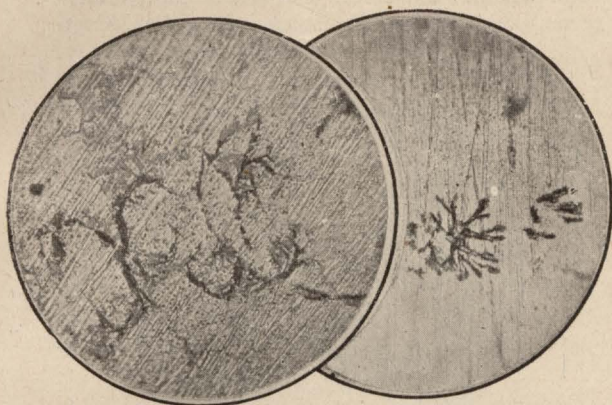


Abb. 11 und 12. Aluminium mit Nitrideinschlüssen.
720 \times vergr.

müssen als mechanische Verunreinigungen angesehen werden.

Sauerstoff und Luft.

Hinsichtlich der Löslichkeit in Aluminium liegen beim Sauerstoff die Verhältnisse ähnlich wie beim Stickstoff, vgl. Zahlentafel I und Abb. 6. Die Gaslöslichkeit ist bei 900° (Probe 6) etwa von der gleichen Größenordnung wie beim Stickstoff, übertrifft aber bei zunehmender Temperatur die Zahlen für Stickstoff nicht unwesentlich und zwar um so mehr, je höher die Temperatur ist. Die Hohlräume betragen bei 1200° C etwa 5 bis 6 Volumen-Hundertteile, bei 1500° rd. 28 Volumen-Hundertteile. Das ergibt eine Sauerstofflöslichkeit bei 1200° von rd. 2,5 vH des Volumens, bei 1500° von rd. 12 vH des Volumens. Mit dem Befund an dem Querschnitt der Proben stehen die Ergebnisse in gutem Einklang. Abb. 13 und 14 (Probe 5 und 6) entsprechen dem bei 650° und 900° behandelten Metall. Sie sind völlig frei von Blasenräumen, während bei Probe 7, Abb. 15, bereits wesentliche, bei Probe 8, Abb. 16, sehr beträchtliche Mengen Sauerstoff beim Erstarren entbunden wurden. Die aus den Querschnittsbildern ermittelten Flächen-Hundertteile stimmen bei Probe 7 noch gut mit den nach dem gravimetrischen Verfahren erhaltenen Werten überein, während sie bei Probe 8 etwas zu hohe Zahlen ergeben. Die planimetrische Bestimmung der Flächen-Hundertteile hat nämlich den Nachteil, daß sie je nach der Ausgestaltung der Hohlräume abweichende Werte ergeben kann und zwar in steigendem Maße mit zunehmender Größe der Hohlräume. Die Wahrscheinlichkeit, einen Durchschnittswert zu erhalten, nimmt also mit der Größe der Blasen ab. Ein geringer Teil des Sauerstoffs wird auch chemisch als Al_2O_3 gebunden und kann ähnlich wie AlN im Gefüge nachgewiesen werden, vgl. Abb. 17 und 18. Von einer chemisch-analytischen Nachprüfung des Sauerstoffs wurde wegen methodischer Schwierigkeiten Abstand

genommen. Auch hier fällt die Menge des chemisch gebundenen Sauerstoffs neben dem elementar gelösten nicht ins Gewicht.

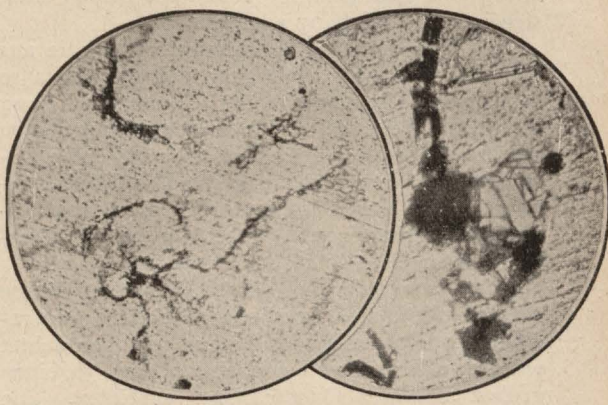


Abb. 17 und 18. Aluminium mit Tonerdeinschlüssen.
720 \times vergr.

Es kann ohne weiteres gefolgert werden, daß die Werte für Luft in ihrem Verhalten zwischen denen ihrer Bestandteile liegen dürften, vgl. Zahlentafel I. Durch die Proben 9 bis 12, vgl. Abb. 19 bis 22, werden diese Voraussetzungen voll bestätigt. Bis 900° findet keine Gasaufnahme statt, Abb. 19 und 20 von Probe 9 und 10. Bei 1200° wird dagegen schon merklich Sauerstoff aufgenommen (Probe 11), der Gasgehalt beträgt rd. 1,3 vH des Volumens, Abb. 21. Noch höheren Gehalt zeigt die bei 1500° behandelte Probe 12, Abb. 22; die entbundenen Gase nehmen einen Raum von rd. 6,0 vH des Volumens ein. Die planimetrisch ermittelten Werte sind ähnlich. Aus dem Kurvenblatt, Abb. 6, ist deutlich ersichtlich, daß sich die Werte zwischen denen des Sauerstoffs und des Stickstoffs bewegen.

Kohlenoxydgas und Kohlensäure.

Ganz ähnlich wie bei den bisher behandelten Gasen liegen die Löslichkeitsverhältnisse auch für das Kohlenoxydgas, Probe 13 bis 16, vgl. Zahlentafel I und Abb. 6. Auch der Größenordnung nach herrscht große Übereinstimmung, wie aus den Wiedergaben der durchgeschnittenen Proben hervorgeht, Abb. 23 bis 26. Bei tieferen Temperaturen ist von einer Kohlenoxydgasaufnahme nichts zu bemerken, Abb. 23 und 24 von Probe 13 und 14. Erst in der bei 1200° behandelten Probe 15, Abb. 25, macht sich das frei entbundene Kohlenoxydgas bemerkbar (1,3 vH des Volumens), während die bei 1500° behandelte Probe 16 bereits beträchtliche Mengen des Gases (8,0 vH des Volumens) entbunden hat, Abb. 26. Die gravimetrisch gefundenen Werte stehen infolge der gleichmäßigen Verteilung der Blasen mit den Flächen-Hundertteilen in guter Übereinstimmung.

Bemerkenswert ist das Verhalten der Kohlensäure gegenüber dem Aluminium, Probe 17 bis 20, Zahlentafel I und Abb. 6. Die Gaslöslichkeitsziffern liegen durchweg etwas höher als die für Kohlenoxydgas. Dies ist aber insofern er-

klärlich, als die Kohlensäure bereits bei 1000° in beträchtlichen Mengen in Kohlenoxyd und Sauerstoff dissoziiert — es handelt sich dabei um eine allgemeine Erscheinung — und die beiden Gase sich in ihrer Wirkung addieren.

Die Wirkung der Kohlensäure war, wie aus der Versuchsreihe hervorgeht, bei 900° etwa so stark, wie sich dies aus der Zusammenzählung der Löslichkeitszahlen der beiden Komponenten ergibt. Offenbar dürfte dies aber auf einen Zufallswert zurückzuführen sein. Die Flächenanteile an Gaseinschlüssen stehen mit den gravimetrisch erhaltenen Werten in guter Übereinstimmung.

Bereits bei der bei 900° behandelten Probe 18, Abb. 28, können deutliche Gaseinschlüsse (reduziert rd. 0,4 vH des Volumens) beobachtet werden, während sie bei Probe 20, Abb. 30, einen großen Teil des Querschnittes ausfüllen. Die Hohlräume betragen rd. 28 vH des Volumens, die daraus errechnete Gasmenge beträgt rd. 12 vH des Volumens. Bei Probe 19, Abb. 29, ist der Anteil in vH der Fläche etwas kleiner als der nach dem spezifischen Gewicht berechnete.

Ein Teil der Kohlensäure wird vom Aluminium bei hohen Temperaturen unter Bildung von Aluminiumkarbid Al_3C zersetzt. Der gebun-

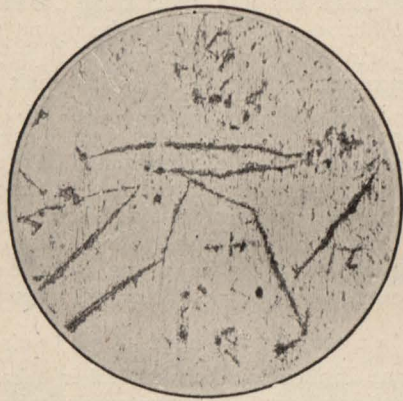


Abb. 31. Aluminium mit Karbideinschlüssen.
180× vergr.

dene Kohlenstoff kann alsdann als freier Gefügebestandteil auftreten, Abb. 31.

Schweflige Säure.

Die Aufnahmefähigkeit des Aluminiums für schweflige Säure, Probe 21 bis 24, ist recht beträchtlich, vgl. Zahlentafel 1 und Abb. 6. Die Kurve steigt von 900° bis etwa 1200° regelmäßig an und nimmt von dort aus einen wesentlich steileren Verlauf. Erst bei 1200°, Abb. 34, machen sich die ersten Gaseinschlüsse bemerkbar, während sie bei 1500°, Abb. 35, bereits einen beträchtlichen Teil des Querschnittes ausfüllen. Ihr Volumenanteil beträgt bei dieser Versuchsreihe steigend 0 vH, 0 vH, 5 vH und 7 vH. Die Abbildungen der durchgeschnittenen Proben, Abb. 32 bis 35 stehen mit den gravimetrisch erhaltenen Werten in guter Übereinstimmung.

Die schweflige Säure wirkt ferner auf das Aluminium unter Bildung von geringen Mengen Schwefelaluminium ein. Der gebundene Schwefel kann alsdann als freier Gefügebestandteil auftreten, Abb. 36. Doch ist auch hier die Menge

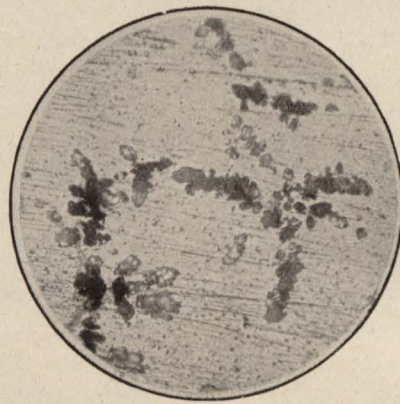


Abb. 36. Aluminium mit Sulfideinschlüssen.
900× vergr.

gebundenen Schwefels verschwindend klein neben den Anteilen, die in Gasform im Aluminium gelöst sind.

Wasserstoff und Leuchtgas.

Wasserstoff wird vom Aluminium wie fast von allen übrigen Metallen am stärksten von allen Gasen gelöst, Probe 25 bis 28, Zahlentafel 1 und Abb. 6. Die entsprechende Kurve beginnt bei etwa 900° und steigt dann fast linear mit der Höhe der Temperatur, der die Schmelze ausgesetzt war. Die Löslichkeitszahlen betragen bei 1200° etwa 15 vH des Volumens (reduziert 6,5 vH des Volumens), bei 1500° dagegen bereits etwa 35 (reduziert 15) vH des Volumens. Bis 900° (Probe 25 und 26) sind die metallischen Querschnitte fast frei von Gaseinschlüssen, Abb. 37 und 38, während die bei 1200° und 1500° hergestellten Proben (Probe 27 und 28) reichliche Mengen Hohlräume im Querschnitt aufweisen, Abb. 39 und 40. Die Versuchsergebnisse werden auch durch den planimetrischen Befund an den Querschnitten bestätigt.

Ganz ähnlich sind die Verhältnisse bei Proben, die in einer Leuchtgasatmosphäre behandelt wurden, Probe 29 bis 32, Zahlentafel 1 und Abb. 6. Verwendet wurde Leuchtgas von etwa 40 vH Wasserstoffgehalt; die Löslichkeitszahlen nähern sich im großen und ganzen den bei Wasserstoff erhaltenen Werten. Der Raumanteil des Gases beträgt bei diesen Proben steigend 0 vH, 0 vH, 5,5 vH und 12,5 vH. In Übereinstimmung damit steht auch der Anteil in vH der Flächen, wie er sich aus den Abbildungen der Querschnitte, Abb. 41 bis 44 berechnen läßt. Anzeichen, aus denen auf die Anwesenheit von gebundenem Wasserstoff geschlossen werden könnte, finden sich im Gefüge nicht vor.

Einfluß der Gase auf die mechanischen Eigenschaften und die Walzbarkeit.

Nach Sieverts³⁾ soll eine Löslichkeit des Aluminiums von Wasserstoff bis zu Temperaturen von 800° nicht festzustellen sein. Es ist daher unwahrscheinlich, daß neben den entbundenen Gasen, die in Form von Gaseinschlüssen auftreten, und neben den chemisch gebundenen Anteilen der Gase auch Anteile der Gase in fester Lösung im Aluminium verbleiben. Auf jeden Fall dürfte aber die in dieser Form gelöste Gasmenge nur äußerst gering sein.

Den chemisch gebundenen Anteilen der Gase, die in Form von Einschlüssen gewisser Verbindungen auftreten, kommt etwa der gleiche Einfluß auf die mechanischen Eigenschaften zu wie allen

sich zwischen 36 und 42, was durchaus den Normalwerten (38 bis 40) entspricht. Nur die mit Kohlensäure behandelte Probe hat eine zu niedrige Qualitätsziffer. Diese Probe war so stark von großen Gasblasen durchsetzt, daß es unmöglich war, eine einigermaßen gesunde Stelle für die Prüfung zu entnehmen.

Die Härte in den unteren und oberen Teilen der Blöckchen weist gemäß Zahlentafel 1 keine merklichen Unterschiede auf.

Sämtliche Proben sind außer mit groben Einrissen, die vielfach auf jeder Seite bis $\frac{1}{4}$ der Streifenbreite einnehmen, mit Fehlerstellen auf der ganzen Oberfläche bedeckt, Abb. 45 bis 52. Diese Fehler bestehen teils in Oberflächen-Überschiebungen (Schieferbildung), Brüchen, Rissen

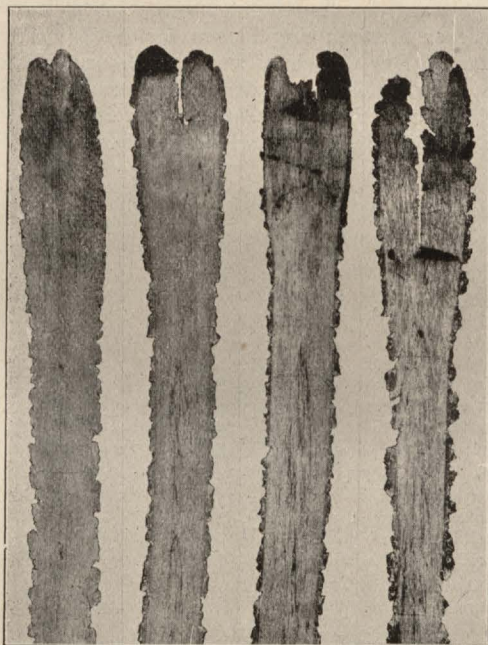


Abb. 45 bis 48. Aluminiumbleche mit Oberflächenfehlern (Gußblöcke erschmolzen unter N_2 , O_2 , Luft und CO bei 1500°). $\frac{2}{5}$ nat. Größe.

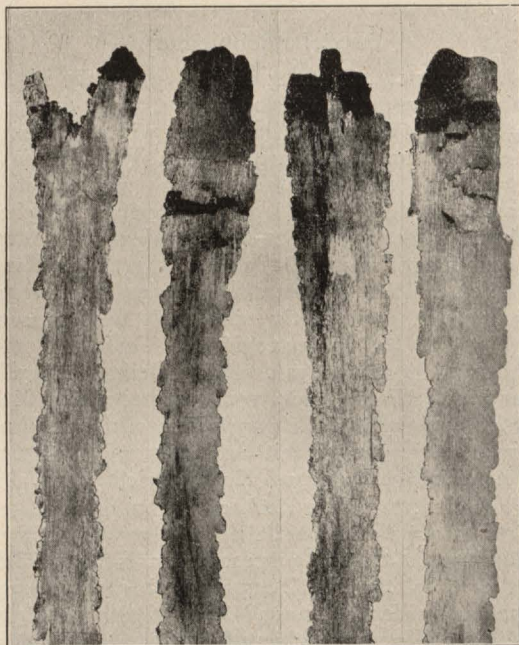


Abb. 49 bis 52. Aluminiumbleche mit Oberflächenfehlern (Gußblöcke erschmolzen unter CO_2 , SO_2 , H_2 und Leuchtgas bei 1500°). $\frac{2}{5}$ nat. Größe.

anderen Fremdeinschlüssen. In der Regel steht dieser Einfluß im Verhältnis zum Querschnitt. Um diese Frage zu prüfen, wurden die folgenden Versuche durchgeführt. Die Versuchsergebnisse, die von den bei den höchsten Temperaturen (1500°) erschmolzenen, in Abb. 10, 22, 26, 30, 35, 40 und 44 wiedergegebenen Proben 4, 12, 16, 20, 24, 28 und 32) erhalten wurden, sind als Ergänzung in Zahlentafel 1 niedergelegt. Beim Sauerstoff wurde die bei 1350° behandelte Probe 7a untersucht. Die Versuchstücke wurden von 7 mm auf 0,5 mm heruntergewalzt.

Die mechanischen Werte liegen durchweg in den Sollgrenzen und zwar sowohl bei dem 30 min bei 400° ausgeglühten als auch bei dem ungeglühten Material. Die Qualitätsziffern bewegen

und unzähligen Blasen. Teils ist, besonders in den Kopfenden, der metallische Zusammenhang aufgelöst, Abb. 50 und 52, bei den Proben 24 und 32, teils sind sie durch grobe Längsrisse aufgespalten, Abb. 46, 47, 48 und 49, bei den Proben 8, 12, 16 und 20. Sämtliche Proben waren in ihrem Querschnitt außerordentlich zermürbt.

Ein Verschweißen solcher Lunkerräume wird dadurch verhindert, daß das eingeschlossene Gas gleichsam ein elastisches Polster bildet, das die unmittelbare Berührung des Metalles verhindert. Außerdem werden Gase wie Sauerstoff, schweflige Säure und dergl. eine chemische Veränderung der Oberfläche hervorrufen, wodurch ein Verschweißen solcher Stellen beträchtlich erschwert wird.

³⁾ Private Mitteilung.

Eine besonders charakteristische Wirkungsweise von Gasblasen besteht noch darin, daß sie durch ihr hohes Ausdehnungsvermögen namentlich bei dünnwandigem Arbeitsgut ein weiteres Aufstreben der Poren, besonders nach erfolgter Glühung, veranlassen. Die Erscheinung äußert sich alsdann darin, daß die Gaseinschlüsse an der Oberfläche Bläschen bilden, die von einer äußerst dünnwandigen Metallhülle eingeschlossen werden. Die Bläschen treten stets aus der Blechoberfläche heraus und zeigen teils wenig, teils sehr deutlich ausgeprägte Wölbungen, die gelegentlich Halbkugelform annehmen können. Die Walzbarkeit des Aluminiums wird demnach bei Anwesenheit von Gasblasen im Gegensatz zu den mechanischen Eigenschaften, die durch Gaseinschlüsse nur wenig beeinflußt werden, in sehr hohem Maße geschädigt.

Betriebstechnisches.

Es entsteht nunmehr die Frage, welche Maßnahmen getroffen werden müssen, um die gelösten Gase aus dem Aluminium wieder zu entfernen, wenn sie während eines Fabrikationsvorganges einmal aufgenommen worden sind. Einerseits dürfte der legierungstechnische, chemische Weg, andererseits der physikalische Weg einzuschlagen sein. Da aber Legierungszusätze bis heute nicht bekannt sind, die das Aluminium nicht auch gleichzeitig spezifisch beeinflussen, so ist das legierungstechnische Verfahren zunächst nicht anwendbar. Es verbleibt somit nur der physikalische Weg, von dem bei vielen Metallen auch bereits Gebrauch gemacht wird. Angewandt werden zurzeit Schleuderguß⁴⁾, vereinzelt auch Schüttel- und Klopfvorrichtungen.

Gestützt auf die Beobachtungen, daß die gelösten Gase in den Metallen infolge von Unterkühlung nicht stetig ausgeschieden, sondern häufig erst bei tieferen Temperaturen spontan entbunden werden (Eisenguß), ergibt sich noch ein weiterer Weg zur Bekämpfung des Übelstandes. Da bei Aluminium offenbar Unterkühlungen recht oft auftreten, ist es empfehlenswert, bei diesem Metall die Gasentbindung vor dem Erstarren nach Möglichkeit zu unterstützen. Offenbar verfolgt die gebräuchliche Maßnahme, die Schmelze vor dem Vergießen längere Zeit im Tiegel zu lassen, den gleichen Zweck, wenn sie auch hauptsächlich das Aufsteigen von suspendierten Fremtteilchen veranlassen soll. Das Aufsteigen der Gasblasen und Fremdstoffe dürfte jedoch beim Aluminium nicht so leicht stattfinden, da das spezifische Gewicht des Metalles sehr gering ist, und somit das Auftriebsvermögen der Gase und sonstigen Fremdeinschlüsse als gering angesehen werden muß.

Infolge der Neigung des Aluminiums zur Unterkühlung wird die Entbindung der Gase erst dann eintreten, wenn bereits eine beträchtliche Menge des Metalles erstarrt und die Restschmelze an Gasen stark übersättigt ist. In diesem Falle wird eine Gasentbindung nicht in

der Randzone auftreten, sondern in die Kernzone (Lunkerzone) verpflanzt werden. Diese Erklärungsweise steht auch in gutem Einklang damit, daß freie Gasblasen in Aluminium nur sehr selten vorgefunden werden und daß die Lunkerräume meist von Gasen erfüllt sind.

Es wird auch ferner von den Betrieben vermutet, daß die Blasigkeit des Gusses durch Lufteinschlüsse bedingt sein könnte, die durch den Metallstrahl beim Vergießen des Metalles mitgerissen werden. Diese Lufteinschlüsse sollen von dem Strömungswirbel erfaßt und im Blockinnern festgehalten werden.

Um diese Frage einmal eingehend zu prüfen, wurde ein dahingehender Betriebsversuch durchgeführt. In den normal vergossenen, noch flüssigen Block wurde unter Zuhilfenahme eines langen Eisenrohres mit feiner Ausströmöffnung, das bis auf den Boden der Form reichte, Luft in größeren Mengen eingeblasen, bis die Erstarrung begann. Der Gußblock wurde nach dem Erstarren einer genauen Prüfung unterzogen. Ein Achsialschnitt (senkrecht zur Breitfläche des Barrens) ist in Abb. 53 wiedergegeben. Im Quer-

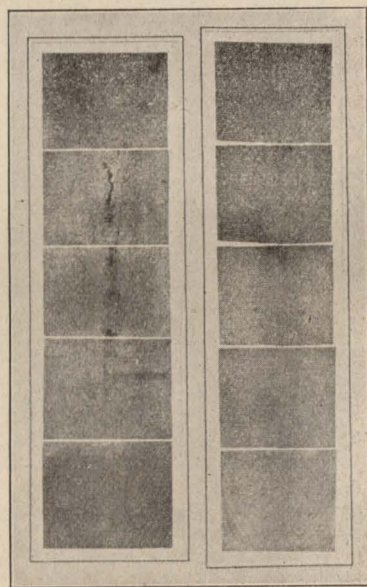


Abb. 53 und 54.

Aluminium-Walzbarren, dem beim Erstarren Luft eingeblasen wurde. rd. $\frac{1}{8}$ nat. Größe.

Abb. 53 (links). Achsialschnitt, senkrecht zur Breitfläche des Barrens.

Abb. 54. Parallelschnitt (zur Grundfläche des Barrens)

schnitt kann zwar ausgesprochene Lunkerbildung beobachtet werden, Lufteinschlüsse in Form von Blasen finden sich aber im ganzen Querschnitt nicht vor.

Die Lunkerbildung ist bei dieser Probe ziemlich beträchtlich. Da indes wegen der raschen Arbeitsweise, die die Durchführung des Versuches erforderte, ein genaues Verfolgen der thermischen Verhältnisse, besonders ein geregeltes Nachgießen nicht möglich war, muß angenommen werden, daß die Lunkerbildung vor allen Dingen mit der anormalen Arbeitsweise im Zusammenhang steht.

Abb. 54 gibt in der gleichen Anordnung Parallelschnitte zur Grundfläche des Barrens wieder. In diesen Schnittebenen ist die Dichtigkeit den Abbildungen gemäß einwandfrei.

⁴⁾ Vergl. Z. f. Metallk. Maiheft 21 S. 233.

Aus diesen Versuchsergebnissen geht ziemlich eindeutig hervor, daß, entgegen der herrschenden Ansicht Luftblasen von größeren Abmessungen in der Schmelze nicht zu verbleiben vermögen und zwar auch dann nicht, wenn sie künstlich dem Gusse zugeführt werden.

Schluß.

Die Aufnahmefähigkeit des Aluminiums für Gase scheint ganz allgemein bei Temperaturen von etwa 900° einzusetzen. Sie ist am kleinsten für Stickstoff und steigt etwa in der Reihenfolge: Kohlenoxyd, Luft, Sauerstoff, schweflige Säure, Kohlensäure, Leuchtgas und erreicht bei Wasserstoff den größten Wert. Die Temperatur, bei der die Gasaufnahme beginnt, liegt für alle Gase verhältnismäßig hoch, so daß bei normalem Betriebsgang eine Gasaufnahme in irgendwie nennenswertem Maße nicht stattfinden dürfte. Nur bei einer beträchtlichen Überhitzung des Metalls kann die Gasaufnahme in größerem Maßstabe einsetzen. Dazu dürfte sowohl bei der Elektrolyse durch Lichtbogenbildung und örtliche Überhitzung (Sauerstoff- und Kohlenoxyd-Aufnahme), als auch beim nachträglichen Umschmelzen des Rohaluminiums die Möglichkeit bestehen. Der Betrieb muß also seine Aufmerksamkeit dahin lenken, solche Überhitzungen nach Möglichkeit bei der Herstellung zu vermeiden. Besonders große Gefahr

dürften beim Umschmelzen die sauerstoff- und kohlenoxydhaltigen Gase, namentlich aber die Gase mit Gehalt an schwefliger Säure und Wasserstoff mit sich bringen. Diesen Verhältnissen müßte vom Betrieb besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden.

Die Blasenbildung wird, wie wiederholt ausgeführt, bei den Ziehverfahren besonders gefürchtet. Die Blasen treten bereits beim Kaltwalzen, insbesondere aber bei stärkerem Ziehen oder nachträglichem Weichglühen der Bleche oder Fertigerzeugnisse auf. Die Ausschulziffern und die Betriebsunkosten werden auf diese Weise ganz unverhältnismäßig erhöht.

Nach übereinstimmenden Betriebserfahrungen soll die Walztemperatur beim Verarbeiten von blasigem Material herabgesetzt werden und zwar auf 300° bis 350°. Beim Treffen dieser Maßnahmen muß man aber vor allem beachten, daß der Übelstand dadurch nicht behoben, sondern nur verdeckt wird. Das Bestreben der Betriebe muß also darauf hinausgehen, von vornherein Blöcke zu erzeugen, die völlig frei von Blasen sind. Dies gilt besonders für die metall-erzeugenden Betriebe, aber auch für diejenigen Betriebe, die ihre Walzbarren selbst herstellen. Es muß darauf geachtet werden, daß jede Möglichkeit zur Überhitzung und Gasaufnahme auf das sorgsamste vermieden wird.

(792)

Die Aufgaben der Industrie-Versuchsanstalten.

Auf der diesjährigen Hauptversammlung des Vereines Deutscher Gießereifachleute in Cassel¹⁾ hat Dr.-Ing. E. H. Schulz einige beachtenswerte Gedanken über die Aufgaben und die Stellung der Versuchsanstalten in Gießereien und Hüttenwerken entwickelt. Die nächstliegende Aufgabe der Versuchsanstalt besteht darin, daß sie durch Untersuchung der einzukaufenden Rohstoffe das betreffende Werk gegen die Möglichkeit einer Übervorteilung schützt, und weiter darin, daß sie die Erzeugnisse des Werkes selbst untersucht, um für den Verkauf eine sichere Grundlage für ihre Bewertung zu schaffen und so das Werk auch vor Beanstandungen zu schützen.

Aus der Untersuchung der Fertigerzeugnisse ergibt sich dann die Aufgabe, den Ursachen der festgestellten Fehler der Erzeugnisse nachzugehen. Damit wird die Versuchsanstalt dazu geführt, sich mit der Verbesserung der Erzeugnisse und Arbeitsverfahren zu beschäftigen.

Aber auch dieser Aufgabenkreis läßt sich nach Dr. Schulz noch erweitern, indem nämlich die Versuchsanstalt auch stets zu den im Betrieb durchzuführenden Versuchen hinzugezogen wird. Aus dieser Tätigkeit ergibt sich schließlich noch für sie die Aufgabe der Prüfung von Vorschlägen zur Verbesserung der Arbeitsvorgänge und Erzeugnisse oder gar zur selbständigen Ausarbeitung neuer Vorschläge. Damit wird die Versuchsanstalt zum Forschungsinstitut.

Was die Stellung der Anstalt innerhalb des industriellen Werkes betrifft, so tritt Dr. Schulz dafür ein, daß sie stets unmittelbar der Werkleitung unterstellt und nicht etwa einer der Betriebsabteilungen angegliedert wird, da Vorbedingung für eine fruchtbringende Tätigkeit die Unabhängigkeit der Anstalt ist. Sehr wesentlich ist eine enge Verbindung mit dem Betriebe, der in der Versuchsanstalt nicht eine Polizeistelle, sondern ein Mittel zur Unterstützung und Hilfe sehen soll.

An dem Vorbilde der Versuchsanstalt der „Dortmunder Union“ erläuterte Dr. Schulz darauf die zweckmäßigste Organisation einer solchen Anstalt. Die Abteilung für metallurgische Chemie führt betriebsmäßig die chemikalisch-analytischen Versuche an Rohstoffen und Fertigerzeugnissen durch. In der Unterabteilung für organische Chemie werden Brennstoffe, Schmiermittel, Öle usw. analytisch und, soweit nötig, auch nach anderer Richtung hin untersucht. Die Abteilung für Metallurgie erledigt einmal die Festigkeits- und Gefügeuntersuchungen betriebsmäßiger Art. An gutachtlichen und Forschungsarbeiten fallen ihr diejenigen Aufgaben zu, die sich auf die Verarbeitung und Behandlung der Metalle, also auch auf das Gießen, Walzen, Schmieden, Glühen, Härten und Vergüten beziehen.

Die Notwendigkeit, z. B. die magnetischen Eigenschaften der Erzeugnisse des industriellen Werkes und etwa auch neuere Legierungen zu untersuchen, ließ in der Dortmunder Union eine Abteilung für Chemie und Physik entstehen, die sich u. a. auch mit Röntgenuntersuchungen an Metallen beschäftigt.

Für die Untersuchung feuerfester Stoffe und für Forschungen über Erze usw. besteht eine Abteilung für Mineralogie. Schließlich ist der Versuchsanstalt eine Abteilung für Photo- und Kinematographie, wenn auch lose, angegliedert worden.

Die Art der Betätigung der Anstalt und die Sammlung von Erfahrungen machen sie besonders geeignet für verschiedene Sonderaufgaben, z. B. wird hier zweckmäßig die Fachliteratur durchgesehen, ausgesucht und gesammelt, auch läßt sich eine Abteilung der einschlägigen Patentanmeldungen angliedern. Festsetzung von Lieferungsvorschriften, soweit sie technischer Art sind, ist Sache der Versuchsanstalt.

So planmäßig und weitgehend entwickelte Versuchsanstalten verursachen wohl nicht unerhebliche Kosten, bringen aber in ihrer Wirksamkeit einen Nutzen, der über die aufgewendeten Kosten hinausgeht.

¹⁾ Vergl. Z. f. Metallk. S. 318.