Zeitschrift: Schweizerische Lehrerzeitung

Herausgeber: Schweizerischer Lehrerverein

Band: 79 (1934)

Heft: 18

Anhang: Erfahrungen im naturwissenschaftlichen Unterricht : Mitteilungen der Vereinigung Schweizerischer Naturwissenschaftslehrer : Beilage zur Schweizerischen Lehrerzeitung, Mai 1934, Nummer 3 = Expériences acquises dans l'enseignement des sciences naturelles

Autor: Christen, Hermann

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Siehe Rechtliche Hinweise.

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. Voir Informations légales.

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. See Legal notice.

Download PDF: 06.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

ERFAHRUNGEN
IM NATURWISSENSCHAFTLICHEN UNTERRICHT
Expériences acquises dans l'enseignement des sciences naturelles
MITTEILUNGEN DER VEREINIGUNG SCHWEIZERISCHER NATURWISSENSCHAFTSLEHRER
BEILAGE ZUR SCHWEIZERISCHEN LEHRERZEITUNG

MAI 1934 — 19. JAHRGANG • NUMMER 3

Ueber Eigenschaften metallischer Werkstoffe

Von *Hermann Christen*, Technikum Winterthur.

In verschiedenen Unterrichtsgebieten hat der Lehrer der Mittelschulstufe Gelegenheit, auf Eigenschaften unserer metallischen Werkstoffe hinzuweisen. Im folgenden sollen einige kurz besprochen werden.

Vorkommen. Fig. 1 gibt eine graphische Darstellung über die relative Verbreitung der wichtigsten Metalle in der Erdkruste wieder. Abgesehen vom Sauerstoff — er beansprucht schon rund die Hälfte — kommt den Elementen Silizium und Aluminium mit zusammen ungefähr einem Drittel der grösste Anteil am Aufbau der Erdkruste zu, während das Eisen erst an dritter Stelle mit nur ca. 5 % rangiert. Berücksichtigen wir noch, dass das spezifische Gewicht von Al nur ca. ⅓ desjenigen des Eisens ist, so zeigt sich — in bezug auf das Vorkommen — eine starke Ueberlegenheit des Aluminiums gegenüber dem Eisen. Fig. 1 gibt noch nach einer andern Richtung interessante Aufschlüsse. Von den Schwermetallen — ausser Eisen — sind es vor allem Kupfer, Zink, Zinn und Blei, die im täglichen Leben am meisten verwendet werden, obschon ihr Vorkommen noch von Magnesium, dem spezifisch leichtesten der praktisch verwendbaren Metalle und dem Hauptbestandteil der Elektron-Legierungen, übertroffen wird. Zwischen den vorhin erwähnten Nichteisen-Metallen und dem Magnesium steht — abgesehen von K und Na — das dem Eisen verwandte Titan, dessen Verbrauchsziffer ebenfalls im Steigen begriffen ist.

Spezifisches Gewicht. Es ist bekannt, dass für viele Verwendungszwecke das spezifische Gewicht eines metallischen Werkstoffs ausschlaggebend ist. Auf allen Gebieten wird heute versucht die Massengewichte herabzusetzen, um auf diese Weise Ersparnisse zu erzielen. Wie der Verbrauch an Al gegenüber einigen Schwermetallen zugenommen hat, zeigt folgende Zusammenstellung (Tabelle 1), die uns über den Metallverbrauch von Al, Pb, Cu, Zn und Sn pro Kopf der Weltbevölkerung orientiert.

Tabelle 1[1])
Metallverbrauch pro Kopf der Weltbevölkerung.

Jahr	Al		Pb		Cu		Zn		Sn	
	in kg	in %	in kg	in %	in kg	in %	in kg	in %	in kg	in %
1900	0,005	100	0,588	100	0,346	100	0,320	100	0,055	100
1913	0,037	755	0,662	113	0,583	169	0,560	175	0,072	131
1921	0,039	796	0,462	79	0,342	99	0,263	82	0,045	82
1929	0,139	3837	0,856	146	0,883	255	0,723	226	0,093	169
1931	0,086	1755	0,620	106	0,592	171	0,498	156	0,069	125

[1]) Dem 33. Jahrgang der statistischen Zusammenstellung über Al, Pb, Cu, Ni, Hg, Ag, Zn und Sn, herausgegeben von der Metallgesellschaft A.-G., Frankfurt a. M., entnommen.

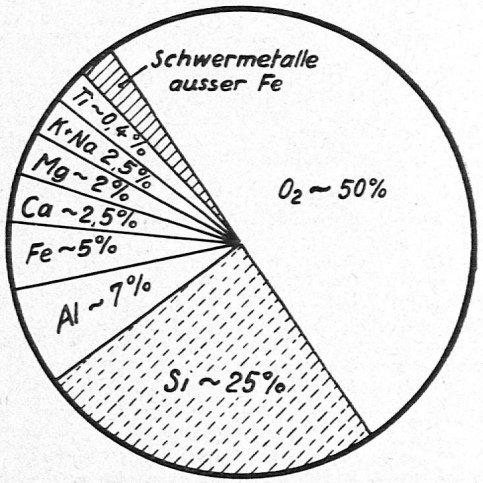

Fig. 1. Relative Verteilung der Elemente in der Erdkruste.

Giessfähigkeit und Kristallaufbau. Noch immer werden die meisten metallischen Werkstoffe in der Technik aus dem Schmelzfluss gewonnen, und noch immer sind die Giessereien Hauptproduktionsstätten in unserer Maschinenindustrie. Die Giessfähigkeit ist daher als eine weitere wichtige Eigenschaft metallischer Baustoffe aufzuführen, die über die Verwendbarkeit eines Metalls oder einer Legierung häufig bestimmend entscheiden kann.

Reine Metalle, wie z. B. Cu, Al, eignen sich verhältnismässig schlecht als Giessmetalle. Sie verfügen nur zum Teil über Eigenschaften, die ein gutes Gussmetall charakterisieren: Geringes Schwindmass, geringes Lösungsvermögen für Gase, Dünnflüssigkeit, Gefügebeständigkeit, Schlackenfreiheit usw.

Wie schon erwähnt, werden die meisten metallischen Werkstoffe — reine Metalle als auch aus zwei oder mehreren reinen Metallen zusammengesetzten Legierungen — aus dem Schmelzfluss gewonnen. Dabei vollzieht sich der Uebergang von der flüssigen in die feste Phase — infolge des Vermögens der Stoffe aus sich selbst heraus oder spontan zu kristallisieren — unter Bildung von Kristallen. Fernerstehende lassen sich nicht ohne weiteres davon überzeugen, weil die hervorstechendsten Eigenschaften eines Kristalls — vollkommene Kristallform und ausgesprochene Spaltbarkeit — bei den Metallkristallen nicht so leicht zu erkennen sind. Ferner verbindet sich mit dem Begriff Kristall der Begriff Sprödigkeit; die Metalle dagegen sind knetbar, duktil. Auch sind ausgesprochene Metallkristalle selten. Besondere Untersuchungen zeigen jedoch, dass es sich bei den Metallen um Haufwerke sehr vieler einzelner Kristalle (Kristallite) handelt, die z. B. Wachstumserscheinungen zeigen wie Mineralkristalle.

Lässt man nämlich eine Metallschmelze sich abkühlen, so bilden sich — wie bei Salzschmelzen —

Kristallkeime (Kristallzentren oder Kerne). Von diesen Zentren aus wachsen die Keime mit einer bestimmten Geschwindigkeit und solange nach verschiedenen Richtungen in die Schmelze, als sie noch Raum zu ihrer Bildung vorfinden. Die im Wachstum befindlichen Kristalle werden aber an irgendeiner Stelle und zu irgendeinem Zeitpunkt mit benachbarten Kristallen zusammenstossen. An diesen Stellen unterbleibt dann das Wachstum und der Kristallisationsvorgang ist beendet. Die den Kristalloberflächen innewohnenden Adhäsionskräfte stellen den Zusammenhang unter den Kristalliten her. So erklärt es sich, dass die Metallkristalle mehr oder weniger unregelmässig geformt sind und unregelmässige, polygonale Formen entstehen. Die Kristallite können dadurch sichtbar gemacht werden, dass von dem betreffenden Metall eine ebene Fläche — Schliff — hergestellt wird, die man chemisch anätzt. Der Aetzvorgang kann derart geleitet werden, dass entweder die Kornbegrenzungen (Korngrenzenätzung, Fig. 2) oder die Kornflächen (Kristallfelderätzung, Fig. 4 u. ff.) hervortreten.

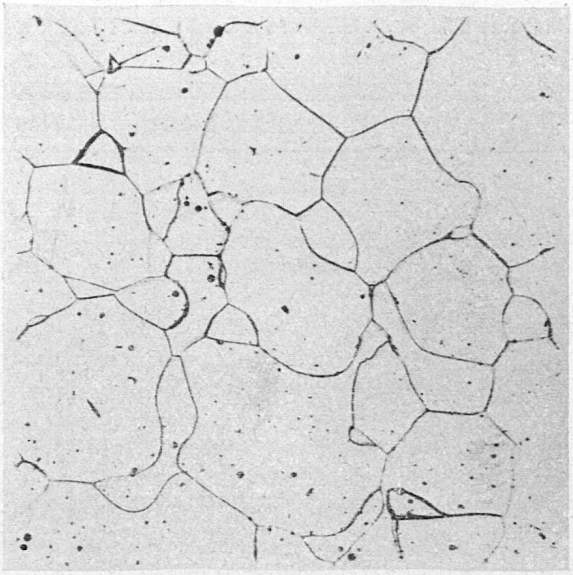

Fig. 2. Elektrolyteisen (100fache Vergrösserung) Kristallgrenzenätzung.

Es sei noch darauf hingewiesen, dass wenn zwei oder mehrere Gefügebestandteile in einer Legierung vorliegen, diese in den meisten Fällen durch geeignete Aetzmittel ebenfalls sichtbar gemacht werden können, wie dies Fig. 3 für die schmiedbaren Messingsorten veranschaulicht, wo die helle Kristallart Alphamessing-, die dunkle Betamessingkristalle sind.

Bei dieser Gelegenheit ist weiter interessant daran zu erinnern, dass die Wachstums- oder *Kristallisationsgeschwindigkeit (K.G.)* bei den Metallen verglichen mit Wachstumsgeschwindigkeiten in der organischen Welt (z. B. Pflanzen) ausserordentlich gross ist (Tabelle 2). Czochralski konstruierte einen Apparat, der es ihm ermöglichte, die K.G. unmittelbar zu messen. Das Verfahren beruht in der Hauptsache darauf, dass man einen Kristallfaden des betreffenden Metalls aus der in einer Schale befindlichen Schmelze an einem von einem Uhrwerk bewegten Mitnehmer vorsichtig herauszieht. Der Mitnehmer (Glas) ist derart ausgebildet, dass er infolge der Kapillarkraft flüssiges Metall emporhebt. Unter Einwirkung der Luft erstarrt dasselbe und wirkt als Kristallisationskern, an dem sich immer neue Teilchen der Schmelze ankristallisieren, so dass bei gleichförmigem Herausziehen ein Einkristall erhalten wird. Bei einer bestimmten Geschwindigkeit lassen sich nun gleichförmige Einkristalle aus der Schmelze ziehen. Diese Geschwindigkeit entspricht angenähert der K.G.

Bei der Phasenumwandlung vom flüssigen in den festen Zustand spielt neben der K.G. eine zweite Grösse, die *Kernzahl (K.Z.)*, eine wichtige Rolle.

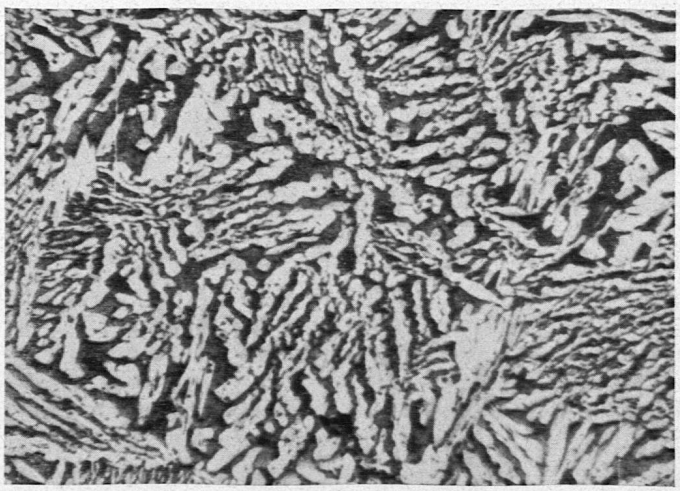

Fig. 3. Kristallgefüge von Alpha-Beta-Messing mit ca. 59 % Cu. Vergrösserung: ca. 250 lin.

Tabelle 2

Metall	K. G. mm/min.	K. Z. cm³/min.
Sn	90	9
Zn	100	10
Pb	140	3,8

Man versteht darunter die Anzahl Partikelchen, die sich in der Raumeinheit (1 cm³) während der Zeiteinheit (1 min.) bei gleichbleibender Temperatur bilden. Auch hier hat Czochralski gezeigt, welche Ueberlegungen zu einer Bestimmung der K.Z. führen.

Von den beiden Grössen K.G. und K.Z. hängt die Struktur der Metalle ab, indem sie die Korngrösse bestimmen. Es gelten die Beziehungen: Je geringer die Zahl der Kristallisationszentren, desto grösser die Kristallkörner, d. h. Kernzahl und Korngrösse sind indirekt proportionale Grössen, konstante K.G. vorausgesetzt. Grosse K.G. — bei konstanter Kernzahl — bewirkt ebenfalls grobes Korn, d. h. Korngrösse und Kristallisationsgeschwindigkeit sind direkt proportionale Grössen.

Fig. 4. Stellt den Einfluss von Ti auf die Korngrösse von Rein-Al (99,5 %) bei Kokillenguss dar. Links *ohne* und rechts mit 0,2 % Ti-Zusatz. 1/3 nat. Grösse.

In der Technologie der Metalle spielt nun die Korngrösse eine immer bedeutendere Rolle. Man hat erkannt, dass die Ausbildung des Gefüges und damit die mechanischen und physikalischen Eigenschaften metallischer Werkstoffe von der Korngrösse stark beeinflusst werden. Grösster Kornfeinheit entspricht z. B. höchste Festigkeit und niedrigste Dehnung. Es ist daher nicht verwunderlich, dass die Bestrebungen der modernen Technologie auf immer stärkere Kornverfeinerungen hinauslaufen. Ein interessantes Beispiel einer solchen Kornverfeinerung ist dasjenige der Legierung Silumin (11—13 % Si, Rest Al). Die Kornverfeinerung wird hier durch Zugabe eines Alkalimetalls, vornehmlich Na, erhalten. Die Fig. 4 zeigt ein weiteres Beispiel.

Ferner ist noch die von Tammann gefundene Tatsache, dass die K.G. und die K.Z. mit steigender Unterkühlung, d. h. steigender Abkühlungsgeschwindigkeit immer zunehmen, zu erwähnen. Bei den in der Technik zur Anwendung kommenden Giessverfahren ist die Abkühlungsgeschwindigkeit durch das Wärmeleitungsvermögen des Formmaterials bestimmt. So haben Metallformen (Kokillen) ein grösseres Wärmeleitungsvermögen als Sandformen, weshalb Kokillenguss immer feinkörniger als Sandguss ist (Fig. 5).

Erfahren beim Kristallisationsprozess die Kristallite eine gewisse Gleichrichtung, die z. B. dadurch entsteht, dass der Wärmefluss aus der Schmelze in einer bestimmten Richtung gelenkt wird, so wird die Regellosigkeit der Kristallite aufgehoben. Die Gleichrichtung äussert sich in einem strahligen Gefüge, wo die Kristallnadeln senkrecht zur Abkühlungsfläche orientiert sind (Fig. 5 und 6). Diese Erscheinung wird als Transkristallisation oder Orthotropie bezeichnet. Sie kann sich bei der Weiterverarbeitung der Metalle als sehr schädlich erweisen (Kantenrisse bei Blöcken). Eine andere Form ist die Bildung von sogenannten Dendriten. Das Kristallwachstum ist dann nicht nur nach einer, sondern nach zwei oder mehreren Richtungen ausgezeichnet, und es kommt ein farnkrautartiger Gefügeaufbau zustande, wie ihn Fig. 7 zeigt.

In einem erstarrten Metall kann man nach dem Erkalten noch andere Erscheinungen wahrnehmen, die mit der Entstehungsgeschichte stark zusammenhängen, so z. B. *Lunkerstellen*. Sie entstehen infolge von Volumendifferenzen zwischen dem flüssigen und festen Metall und infolge ungleichmässiger Abkühlung. Lunkerhohlräume zeigen unregelmässige Begrenzungsflächen, die vielfach von einer dünnen Oxydhaut überzogen sind und deshalb beim Weiterverarbeiten (Walzen, Schmieden usw.) nur schlecht oder gar nicht verschweissen.

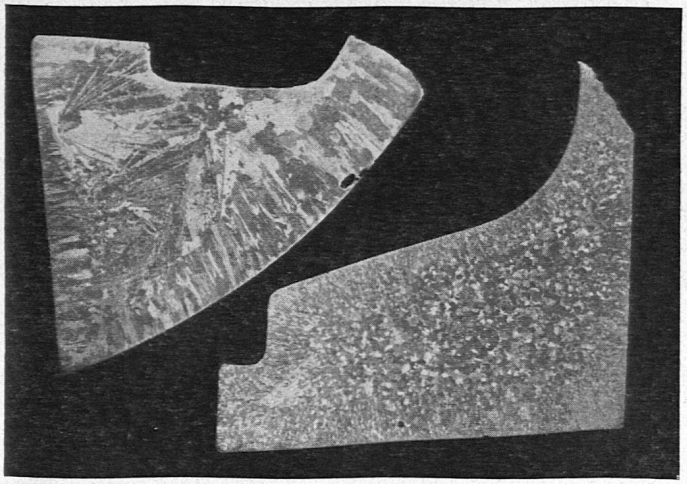

Fig. 5 zeigt das wesentlich feinkörnigere Gefüge von Kokillenguss gegenüber dem groben Korn des Sandgusses (Alufont). $^2/_3$ nat. Grösse.

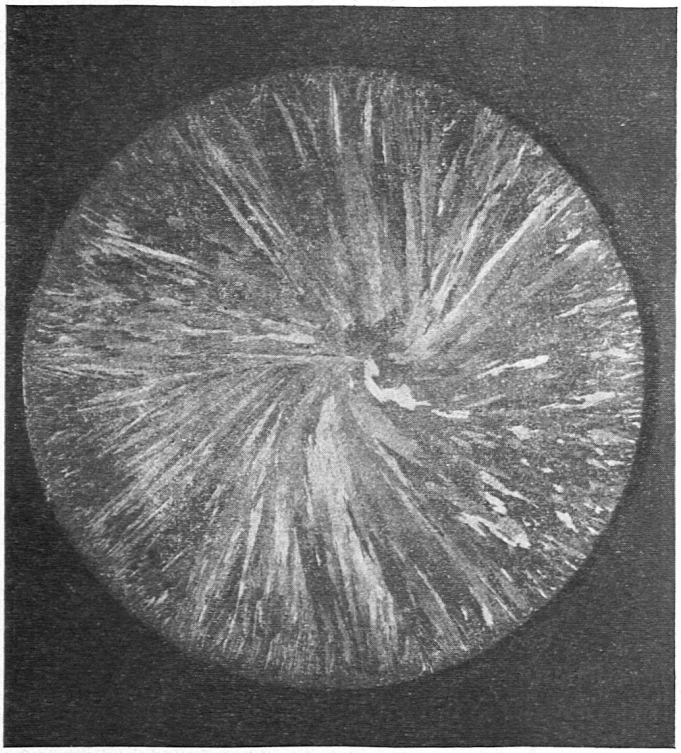

Fig. 6. Elektrolytkupfer. Gegossener Rundbarren. $^1/_3$ nat. Grösse.

Infolge der schädlichen Wirkung von Hohlräumen ist es verständlich, warum auch *Gaseinschlüsse*, die davon herrühren, dass die Metalle beim Einschmelzen, im Schmelzfluss oder bei der Weiterverarbeitung Gase aufnehmen, die Eigenschaften metallischer Baustoffe ungünstig beeinflussen. Das Vermögen Gase aufzulösen steigt bei den Metallen mit der Höhe der Schmelztemperatur. Beim Erstarren nimmt die Löslichkeit wieder ab, und der grösste Teil der Gase wird in Form von Blasen ausgeschieden, was Porenbildung zur Folge hat. Ein besonderer Umstand liegt noch darin, dass das Gasvolumen, so bald die Gase frei werden, um ein Vielfaches grösser wird. Gasblasen im Stahl, die ganz von Metall umschlossen sind, enthalten im wesentlichen Wasserstoff, Stickstoff und Kohlenmonoxyd. Daher können sich an den glatten Wänden keine Oxydationsprodukte bilden (blanke, metallisch reine Innenflächen). Bei einer Weiterverarbeitung verschweissen gewöhnlich solche Hohlräume. Randblasen oder Gasblasen dagegen, die durch feine Risse oder durch Porengänge mit der Atmosphäre derart in Verbindung stehen, dass auch Sauerstoff hineingelangen kann, zeigen mehr oder weniger oxydierte Wände und verschweissen bei der Weiterverarbeitung gewöhnlich nicht.

Durch erhöhten Sauerstoffgehalt werden auch die Festigkeitseigenschaften verschlechtert. Von einem gewissen Gehalt an stellt sich Rotbrüchigkeit und Neigung zur Grobkörnigkeit ein.

Beim Vorhandensein mehrerer Kristallarten können bei den einzelnen sich ausscheidenden festen Komponenten Unterschiede im spezifischen Gewicht vorhanden sein. Der spezifisch schwerere Bestandteil sinkt dann beim Erstarren zu Boden, der spezifisch leichtere steigt in die Höhe (Fig. 8). Solche *Entmischungen*

oder Seigerungen finden sich vielfach bei Lagermetallen. Auch die Elemente Schwefel, Phosphor und Kohlenstoff haben — beim Abgiessen von Flußstahl in Kokillen oder beim Abgiessen eines Gußstückes — die

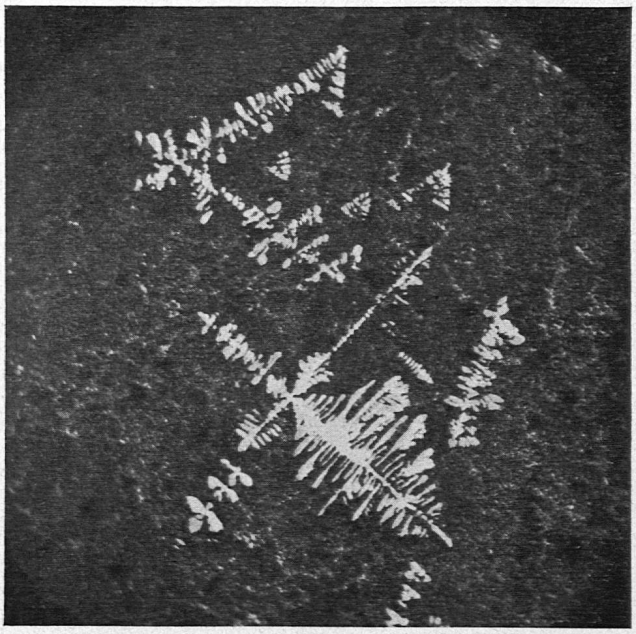

Fig. 7 zeigt das Gefüge von Silumin, bei welchem durch Abbeizen die ca. 13% eutektische Al-Si-Legierung weggelöst wurde, während das überschüssige Al in Form schöner Dendriten (weiss) erhalten blieb. (15fache Vergr.)

Neigung sich an der am längsten im Block oder Gussstück flüssigen Stelle anzureichern. Solche Entmischungen einer ursprünglich gleichmässig zusammengesetzten Schmelze führen zu Unterschieden in der chemischen Zusammensetzung; diese führen wiederum zu Unterschieden in den Eigenschaften der metallischen Werkstoffe. Im Gegensatz zu diesen Blockseigerungen können Seigerungen auch schon innerhalb eines einzelnen Kristalls auftreten (Kristallseigerung). Der Kristall weist dann in seinem Kernteil (Kristallskelett) eine andere Zusammensetzung auf als in den später ankristallisierten Schichten. Durch längeres Ausglühen kann diese Kristallseigerung nachträglich beseitigt werden. Auch durch Gasblasen werden Seigerungen begünstigt (Gasblasenseigerung).

Es sei noch auf eine Erscheinung, die ebenfalls mit der Entstehungsgeschichte gegossener Metalle innig zu-

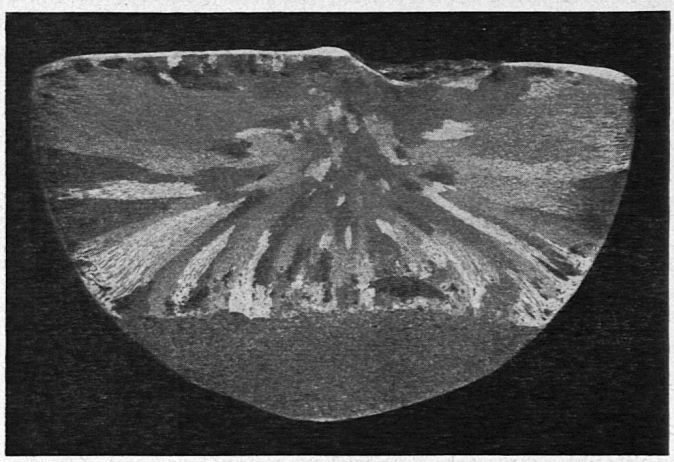

Fig. 8. Kupfer-Blei-Legierung (50% Cu, 50% Pb). 1⅓ Vergr. Seigerung.

sammenhängt, hingewiesen. Sie ist unter dem Namen *Fremdstoff- oder nichtmetallische Einschlüsse* (Oxyde, Sulfide) bekannt. Während der Schmelzung metallischer Werkstoffe tritt vielfach eine absichtliche oder unabsichtliche Oxydation der Schmelze ein. Es müssen deshalb — zur Beseitigung des Sauerstoffs — nach Herstellung des Metallbades chemische Prozesse eingeleitet werden, um den Sauerstoff dem Bade zu entziehen (Desoxydation). Die im Metallbad unlöslichen Reaktionsprodukte steigen nur zum Teil an die Bad-

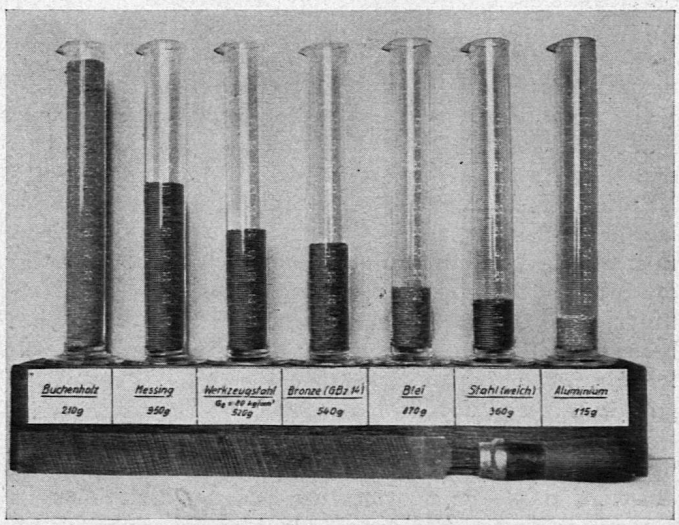

Fig. 9.

oberfläche, wo sie eine Schlackendecke bilden, zum Teil bleiben sie aber im Bade suspendiert. Dasselbe erscheint als trübe Flüssigkeit. Besonders gefährlich werden solche Einschlüsse, wenn sie feine Häutchen bilden und den metallischen Zusammenhang dadurch unterbrechen, dass sie sich beim Erstarren der Schmelze zwischen den Begrenzungsflächen der Kristalliten einlagern.

Bearbeitbarkeit. Bei der Beurteilung der verschiedenen metallischen Baustoffe spielt die Bearbeitbarkeit eine ebenfalls wichtige Rolle. Fig. 9 gibt die Versuchsresultate wieder, wie sie bei einstündigem Feilen mit einer Fräserfeile der Feilenfabrik Schwarz in Winterthur erhalten wurden. Die anfallenden Späne wurden gewogen und die Gewichte in Gramm unter die betreffenden Werkstoffe geschrieben.

Literaturhinweise:

Czochralski, Moderne Metallkunde.
Sauerwald, Lehrbuch der Metallkunde.
Goerens, Einführung in die Metallographie.
«Kristallisieren und Schmelzen». Eine Würdigung der Arbeiten von Tammann, Zeitschrift f. Metallkunde 1931, S. 134.

Die Fig. 4 und 5 sind dem demnächst erscheinenden Handbuch der Technologie des Aluminiums und seiner Leichtlegierungen von Prof. Dr. von Zeerleder entnommen und mir in freundlicher Weise vom Verfasser überlassen worden, wofür ihm an dieser Stelle bestens gedankt sei. (Dieses Werk ist inzwischen erschienen. Red.)

Kleine Mitteilungen

Leider erlaubte es der verfügbare Raum auch diesmal noch nicht, das von R. Müller in Heft 1 eröffnete Thema «Selbständige Schülerarbeiten» fortzuführen; die betreffenden Einsendungen mussten für das Juliheft (Nr. 4) zurückgestellt werden. Möchte es uns in absehbarer Zeit gelingen, unser Blatt wieder etwas zu erweitern! *Die Redaktion.*

Schriftleitung: **Dr. A. Günthart,** Frauenfeld.