

Das Leben der Metalle.

Von J. Czochralski in Berlin.

(Mitteilungen aus der Materialprüfungsanstalt der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft, Kabelwerk, Oberspree.)

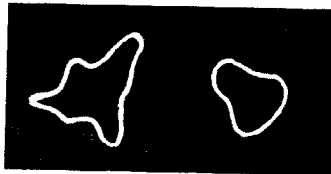
Leben und Tod sind Erscheinungen, die im allgemeinen nur die Lebewesen der organischen Welt kennzeichnen. In der Materialienkunde sind dagegen Lebens- und Krankheitserscheinungen an Stoffen der unorganischen Welt, insonderheit der Metalle, eine schon längst bekannte Tatsache. Wasserstoffkrankheit bei Kupfer und Eisen, die einerseits zur Bildung zahlreicher Rissherde im Innern des Metalls führt, andererseits die gefürchtete Kaltbrüchigkeit des Eisens verursacht; Zinnpest, die versteckt und schleichend gleich einem chronischen Leiden kunstgewerbliche und andere Gegenstände, Zierguss, Geschirr, Verkleidungen oder gar ganze Zindächer befällt und langsam, aber unerbittlich unter Zurücklassung einer grauen Asche vernichtet; Rückbildung verkümmerter Gefügebestandteile durch Ansteckung, Impfung oder Erwärmung, die nicht selten von starker Entfestigung oder vom Morschwerden der metallischen Stoffe begleitet wird, bildeten den ersten Anstoss zur Einführung therapeutischer Verständigungsformeln und Bildern in die Metallkunde. Andererseits verdanken manche Legierungen (gehärteter Stahl, gehärtete Bronze) wiederum den schmarotzenden Gefügebestandteilen ihre technischen Vorzüge. Durch die Beseitigung dieser Bestandteile gehen auch die wertvollen Eigenschaften in der Regel restlos verloren.

Alle metallischen Stoffe bauen sich in genau derselben Weise wie Gesteine aus dichten Körnern gleichartiger oder

verschiedenartiger Kristalle auf; nur ist ihr Gefüge nicht wie bei Granit und anderen Gesteinen sogleich ohne weiteres sichtbar. In der Regel ist noch eine besondere Nachbehandlung der polierten Fläche notwendig, um die Gefügebestandteile voneinander unterscheiden zu können.

Die Gestalt dieser das Gefüge bildenden Kristalle wird durch Glühen stark verändert. Die zackigen, amöbenähnlichen Kristallgebilde (Figur 1) gehen beim Glühen in mehr oder weniger abgerundete Formen über. Sie ähneln in diesem Zustand etwa Amöben mit eingezogenen Pseudopoden (Figur 2). Die Ursache des Schrumpfens bildet die Oberflächenspannung; sie zwingt die einzelnen Kristalle, die kleinstmögliche Oberfläche anzunehmen. Auch die Grösse der Kristalle ist von der Glüh Temperatur und ebenso der Glühdauer in hohem Masse abhängig. Glüht man beispielsweise Kupfer, Eisen, Blei, Aluminium, Zinn, Messing oder ganz allgemein ein Metall oder eine Legierung längere Zeit, so schwellen einzelne Metalle auf Kosten der in ihrem Wachstum benachteiligten Nachbarn an, indem sie letztere nach und nach aufzehren. Die Metallographie hat diesem Vorgang den Namen „Wachsen“ beigelegt. Werden die Metalle zu lange oder bei zu hoher Temperatur geglüht (überhitzt), so geht mit dem Wachsen der Kristalle vielfach eine Entfestigung und Verschlechterung ihrer technischen Eigenschaften Hand in Hand.

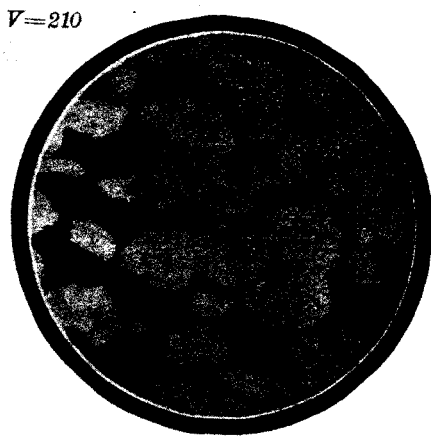
Diese Ueberhitzungserscheinungen sind stets Folgen art eigener Krankheiten der metallischen Stoffe, über deren



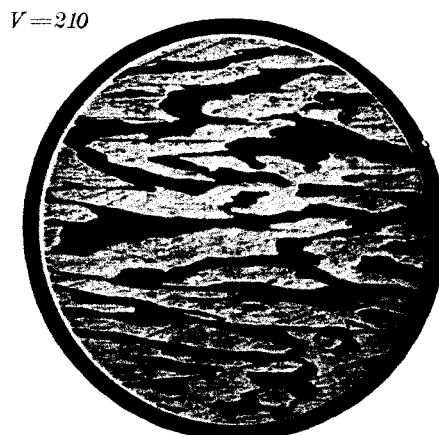
Figur 1.

Figur 2.

Figur 1. Zackiger Gusskristall.
Figur 2. Beim Glühen zusammen-
geschrumpfter Kristallit.



Figur 3.



Figur 4.

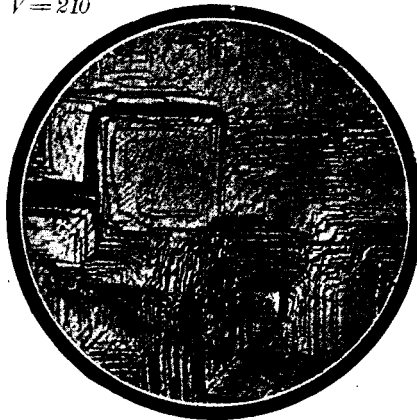


Figur 5.

Figuren 3 und 4. Schmiedemessing vor und nach dem Kaltziehen, geätzt rund 5 Minuten in warmer Schwefelsäure 1:1 (Figur 3 vor dem Kaltziehen, Figur 4 nach dem Kaltziehen). Figur 5. Weich-Tombakkristalle, infolge ungleicher Oberflächenreflexion als helle und dunkle Felder sichtbar. Geätzt mit 10 prozentiger Ammoniumsulfatlösung.

$V=1$ 

Figur 6.

 $V=210$ 

Figur 7.

 $V=210$ 

Figur 8.

Figur 6. Labradorkristalle, sichtbar infolge innerer Reflexe an Einlagerungen; ungeätzt. Figur 7. Kupferkristall mit Ätzfiguren; stark geätzt mit 10prozentiger Ammoniumpersulfatlösung. Figur 8. Kupferkristall mit Ätzfiguren (Übersichtsbild); geätzt mit 10prozentiger Ammoniumpersulfatlösung.

wahre Ursachen nur wenig bekannt ist. Vielfach lassen sich die Störungen auf die mechanischen Widerstandsunterschiede, die grobkörnige Metalle in grösserem Masse als die feinkörnigen aufweisen, zurückführen; andererseits sind aber auch

 $V=1$ 

Figur 9. Schwach gewalzte und danach geätzte Aluminiumbronze; der Druck hat von beiden Walzen nur bis zu einem Viertel der Arbeitsgütdicke gewirkt, bei nachfolgendem Glühen sind nur die gereckten Körner am Rande zerfallen, die ungereckten im Innern angeschwollen. Geätzt mit 10prozentiger Ammoniumpersulfatlösung.

zuzugte Streckrichtung zeigten, erscheinen jetzt in der Zugrichtung stark gelängt. Hierbei wird die Festigkeit des Metalls verdoppelt bis verdreifacht. Diesem Festigkeitszuwachs verdanken viele Metalle ihre ausgedehnte technische Verwendung. Drähte, Rohre, Stangen und Bleche werden fast ausschliesslich mehr oder weniger stark verfestigt von den Metallverbrauchern verarbeitet.

Ausser durch die Längung der Kristalle gibt sich die Kaltreckung noch durch andere Erscheinungen zu erkennen. In der Figur 5 wird jeder Kristall durch Helligkeitsdifferenzen klar angezeigt. Bei bestimmten Winkeln zwischen den Lichtstrahlen und seinen Achsen erreicht jeder Kristall einen geringsten und grössten Helligkeitsgrad. Relativbewegungen zwischen Schliff und Lichtquelle verändern die Helligkeitsverteilung auf dem Schliff. Diese Reflexionsart wird als disloziert (unterbrochen) bezeichnet.

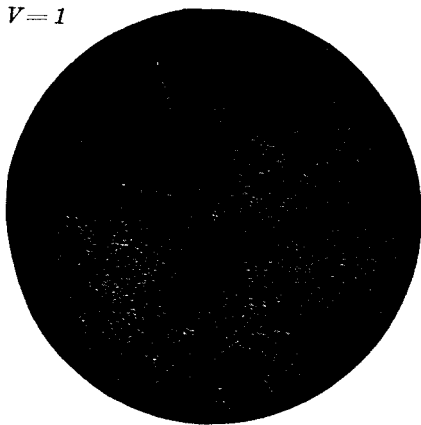
Das Lichtspiel zeigt grosse Ähnlichkeit mit dem sogenannten „Labradorisieren“. Am Labrador, einem geschätzten Luxusbaustein, dürfte jedem die eigentümliche, in Figur 6

Werdend die Metalle kalt gereckt, so steigt ihre Festigkeit unter Verminderung der Bildsamkeit. Die Kaltreckung gibt sich unter anderem durch Streckung der einzelnen Kornindividuen zu erkennen. Die Figur 3 gibt das Gefüge von Schmiedemessing vor dem Kaltziehen wieder. Figur 4 zeigt dagegen das Gefüge desselben Metalls nach dem Kaltziehen. Die Körner, die ursprünglich keine bevor-

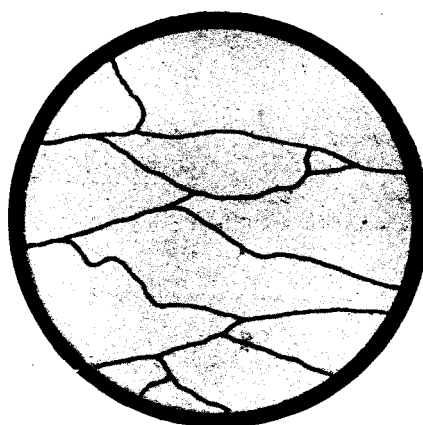
zugte Streckrichtung zeigten, erscheinen jetzt in der Zugrichtung stark gelängt. Hierbei wird die Festigkeit des Metalls verdoppelt bis verdreifacht. Diesem Festigkeitszuwachs verdanken viele Metalle ihre ausgedehnte technische Verwendung. Drähte, Rohre, Stangen und Bleche werden fast ausschliesslich mehr oder weniger stark verfestigt von den Metallverbrauchern verarbeitet.

Ausser durch die Längung der Kristalle gibt sich die Kaltreckung noch durch andere Erscheinungen zu erkennen. In der Figur 5 wird jeder Kristall durch Helligkeitsdifferenzen klar angezeigt. Bei bestimmten Winkeln zwischen den Lichtstrahlen und seinen Achsen erreicht jeder Kristall einen geringsten und grössten Helligkeitsgrad. Relativbewegungen zwischen Schliff und Lichtquelle verändern die Helligkeitsverteilung auf dem Schliff. Diese Reflexionsart wird als disloziert (unterbrochen) bezeichnet.

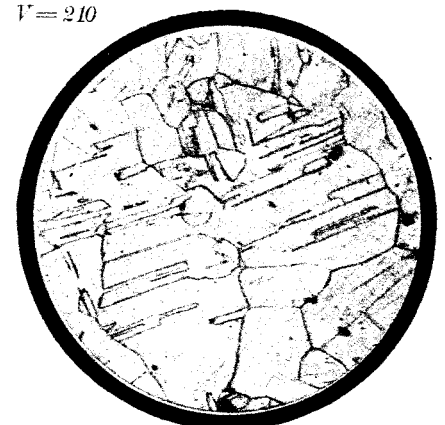
Das Lichtspiel zeigt grosse Ähnlichkeit mit dem sogenannten „Labradorisieren“. Am Labrador, einem geschätzten Luxusbaustein, dürfte jedem die eigentümliche, in Figur 6

 $V=1$ 

Figur 10.



Figur 11.

 $V=210$ 

Figur 12.

Figur 10. Das in Figur 5 dargestellte Metallstück nach dem Kaltrecken. Kornverbände erhalten; Korninneres bis zum Unkenntlichwerden verlagert. Geätzt mit 10prozentiger Ammoniumpersulfatlösung. Figur 11. Korngrenzen, Hülfsphase zu Figur 10 (Handzeichnung). Figur 12. Zerfall und Neuordnung des Gefüges kaltgereckter „zwillingsbildender“ Metalle beim Ausglühen. In der Abbildung sind zahlreiche Zwillingsstreifen und Zwillingsgrenzen sichtbar (Aluminiumbronze). Ätzpoliert mit ammoniakgetränktem Wattebausch.

wiedergegebene Glitzererscheinung aufgefallen sein. Bei diesem Mineral werden die Glitzererscheinungen durch innere Reflexe an regelmässig angeordneten Einschlüssen, Luftporen oder an Kapillarspalten hervorgebracht.

Die Helligkeitsdifferenzen an Metallschliffen, wie sie Figur 5 veranschaulicht, werden hervorgerufen durch gesetzmässige Ausfressungen, die mit der inneren Kristallstruktur in strengem Zusammenhang stehen. Der innere Aufbau eines Kristalls lässt sich an dem Reihenflug der Vögel leicht und anschaulich versinnbildlichen: Die Flugordnung einiger Vogelarten gleicht beispielsweise einem geraden Stabe, andere Arten folgen wiederum beim Fluge einer arteigenen Winkelanordnung. Denkt man sich nun eine Anzahl solcher Reihen zu einem „Raumgitter“ ergänzt, so erhält man ein vollkommenes Modell der molekularen Anordnung eines beliebigen Kristallgebildes. Nun ist es klar, dass ein solches System, je nach dem Beobachtungswinkel, dem Beobachter sich verschiedenartig darstellen wird. Bei einem auf den Beobachter zu gerichteten Flug wird weniger Licht in der Richtung des Beobachters zurückgeworfen als bei einer um 90° verdrehten Flugrichtung, bei der die reflektierenden Flächen günstiger gelegen sind. Infolgedessen wird auch das Bild bei der zuletzt genannten Flugrichtung an Intensität gewinnen. Genau mit den gleichen Erscheinungen haben wir es bei Figur 5 zu tun. Nur sind, was wir hier sehen, nicht die Moleküle selbst, sondern ihre Reflexwirkungen.

Man kann noch einen Schritt weiter gehen und sogar die Knickwinkel der Molekülanordnung der verschiedenen Kristallsysteme bestimmen. Dies wird erreicht durch das Blosslegen der sogenannten Aetzfiguren (Figuren 7 und 8), die durch Verwendung geeigneter Aetzmittel sichtbar gemacht werden können. Das Auftreten regelmässig begrenzter Aetzfiguren ist, wie die dislozierte Reflexion, nur Stoffen eigen, die eine gesetzmässige Verkettung der kleinsten Teilchen aufweisen. Sie bilden wichtige kristallographische und technologische Kennzeichen.

Zu ganz anderen mikroskopischen Erscheinungen gelangt man, wenn man das Gefüge kaltgereckter Metalle einer eingehenden Prüfung unterzieht. Alle Erscheinungen, die an eine gesetzmässige Verkettung der kleinsten Teilchen gebunden sind, verschwinden in dem Grade, wie die Verfestigung zunimmt. In Figur 10 ist das in Figur 5 wiedergegebene Metallstück nach äusserst kräftiger Kaltreckung dargestellt. Die Abbildung lässt erkennen, dass die dislozierte Reflexion auf Schliffen kaltgereckter Metalle nach und nach gänzlich abgeschwächt oder völlig un wahrnehmbar wird. Auch die Kristallfigurenätzbarkeit geht verloren. Durch das Kaltrecken wird nämlich die gesetzmässige Verkettung der kleinsten Teilchen gestört, und die Kristalle selbst werden gelängt, verzerrt und verbogen. Wenn wir diese Störung der Kristallstruktur auf den räumlichen Reihenflug der Vögel übertragen, so würde die ursprünglich gesetzmässige Verkettung der Einzelindividuen gleichsam wie durch einen Windwirbel gestört und nach Massgabe der äusseren Kräfte verlagert.

Ein solches gestörtes System wird natürlich auch keine geregelten Gefügeeigentümlichkeiten aufweisen, sondern optisch gleichartig erscheinen. Man hat es hier gleichsam mit mechanisch und optisch abgestorbenen Kristallen zu tun, in denen alles Leben gänzlich erstarrt ist: das Arbeitsgut hat alle seine ursprünglichen Eigenschaften fast völlig verloren und ist steif und unnachgiebig geworden.

Das Metall wird durch das Kaltrecken gewissermassen zur Anspannung seiner letzten Lebenskraft gewaltsam gezwungen. Die Steigerung der Zerreiissfestigkeit, so sehr sie auch vielfach erwünscht ist, birgt infolge innerer Spannungserregung manche Gefahren in sich. Latente Reckspannungen bilden nicht selten die Ursache spontaner oder allmählicher Rissbildung.

Die Endlage der geometrisch mindestens einaxial bevorzugten kleinsten Teilchen der Kristalle nach Erschöpfung der Bildsamkeit ist nicht willkürlich geordnet, sondern nach Massgabe des äusseren Zwangs „umgerichtet“ oder, mit dem genialen Entdecker der flüssigen Kristalle gesprochen, „erzwingen homöotrop“. Auch für diesen Zustand bietet die Natur ein sinnfälliges Modell; es ist dies der scheinbar ordnungslose Flug der Tauben. Bei aufmerksamer Beobachtung können wir leicht feststellen, dass eine solche Schwärmschar in der Tat bei ihrem Fluge eine gewisse Ordnung beibehält und eine zueinander und zur Flugrichtung parallele Lage unentwegt aufrechterhält oder sie tunlichst wiederherstellt.

Auch die „erzwungene Homöotropie“ zeichnet sich durch Parallellage sämtlicher Hauptachsen (hier quer zu der Richtung des Schubs) der Molekulargebilde aus. Die Lage der Nebenachsen ist dagegen unbestimmt und wechselnd. Würden die bildsamen Kristalle die gesetzmässige Verkettung ihrer kleinsten Teilchen nicht verlassen können, so würden sie, wie die meisten spröden Kristalle, beim Recken zu einem äusserst feinen, vielleicht molekularen Staubbenebel zerfallen. Dies ist jedoch nicht der Fall. In Figur 10 ist das Korninnere bis zum Unkenntlichwerden verlagert, dagegen ist noch jeder ursprüngliche Kornverband deutlich zu erkennen (Figur 11); nur am Rande, an dem die Formbarkeit des Metalls völlig erschöpft war, traten Brüche auf.

Die Abhängigkeit der kristallographisch-optischen Kennzeichen metallischer Stoffe von der Kaltbearbeitung ist in der Materialprüfungsanstalt der *Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft, Kabelwerk Oberspree*, erforscht und experimentell erwiesen worden¹⁾.

Wie bereits zu Anfang erwähnt, lagert sich das Korn eines kaltgereckten Metalls beim Erhitzen um. Die gestreckten Kristalle lösen ihre fadenartige Anordnung auf und zerfallen in mehr oder weniger gleichmässige Kristallkörnchen. In Figur 9 hat der Druck von beiden Walzen her nur bis zu einem Viertel der Dicke des Reckguts kräftig gewirkt; beim nachfolgenden Glühen sind die stark gereckten Körner am Rande zerfallen, die gar nicht oder nur schwach gereckten im Innern angeschwollen. Die Körnchen zeigen wieder das bunte Leben des anfänglichen Muttermetalls: dislozierte Reflexion, Kristallfigurenätzbarkeit, Bildsamkeit und geringe Härte. Einige kaltgereckten Metalle, wie Kupfer, Gold, Blei, zerfallen beim Glühen unter Zwillingsbildung (Figur 12).

Bei Blei, Zinn und einigen anderen Metallen tritt die hier geschilderte Umkristallisation unter besonderen Umständen schon bei dem Kaltreckprozess auf, um vielleicht nach Jahren oder gar nach Jahrhunderten zu verklingen.

Auch im Leben der Metalle offenbart sich demnach einer jener Kreisprozesse, die in der Natur stets die höchste Zweckmässigkeit offenbaren.

¹⁾ Siehe *Internationale Zeitschrift für Metallographie* 1914, Heft 5 (im Erscheinen) sowie *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure* 1913, S. 931 bis 935 und S. 1014 bis 1020.