Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 69 (1951)
Heft: 23

Artikel: Aus der Geschichte der Metallographie
Autor: Merz, Heinrich
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-58871

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 02.07.2025

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

69. Jahrgang Nachdruck von Bild oder Text nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet
Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich Nummer 23

Aus der Geschichte der Metallographie

Von Dr. phil. HEINRICH MERZ, Burgdorf DK 620.18

I. Wissen und Wissenschaft von den Metallen

Sprach der alte Wäinämöinen,
Redet Worte solcher Weise:
Kenn' ja selbst des Eisens Ursprung,
Weiss gar wohl des Stahls Entstehung,
Luft ist die urerste Mutter,
Wasser ist der ält'ste Bruder,
In der Mitte steht das Feuer
Kalewala

Eine fremde Welt betritt der Naturwissenschafter, der aus den Ueberlieferungen alter Kulturen das ursprüngliche Wissen von den Metallen zu erfahren sucht. Dieses Wissen begegnet ihm in zweierlei Gestalt: In der ersten ist es als Offenbarung in die grossen Bilder der Schöpfungsgeschichten eingefügt, in der andern begleitet es das dramatische Schaffen der Schmiedekünstler in Mythen und Sagen. Ein Erfahrungselement ist bereits angetönt: wiederholt trifft man auf das Motiv vom Misserfolg des ersten Versuchs; das Stück kommt wieder ins Feuer, Ueberlegung greift ein.

Durch Altertum und Mittelalter bis an die Schwelle der Neuzeit bildete alle geistige Arbeit nach jeder Richtung hin ein Ganzes, das man Wissenschaft nannte. Aus dieser Universalität heraus entstanden auch die Kunstwerke, schuf z. B. noch Lorenzo Ghiberti die berühmten Bronzetüren von San Giovanni in Florenz (1403—1457), Meisterstücke vollendeten Gusses. Um die selbe Zeit erschien aber nun das Werk «De docta ignorantia» von Kardinal Nicolaus Cusanus (1440). Es war der Versuch, geistige Erkenntnis an das Wissen von den äusseren Dingen wieder anzuknüpfen, nachdem die Scholastik Wissen und Glauben voneinander getrennt hatte. Durch die Gedanken dieses Gelehrten wird ein kulturgeschichtlicher Wendepunkt angedeutet: die Geburt der Naturwissenschaft. In jener Epoche entstand auch die Buchdruckerkunst, es wurden die Männer geboren, welche den unerhörten Aufstieg von Wissenschaft und Kunst einleiteten: Leonardo da Vinci, Erasmus, Michelangelo, Kopernikus, um nur wenige zu nennen.

Schon in der ersten Hälfte des sechzehnten Jahrhunderts begründete Georgius Agricola (1494—1555) die Wissenschaft vom festen Körper in Gestalt einer Mineralogie und einer Lehre von den Metallen. Goethe sagt von ihm (Zur Farbenlehre): «... so wollen wir unseres Landsmannes Georg Agricola gedenken, der schon in der ersten Hälfte des sechzehnten Jahrhunderts, in Absicht auf das Bergwesen, dasjenige geleistet, was wir für unser Fach hätten wünschen mögen. Er hatte freilich das Glück, in ein abgeschlossenes, schon seit geraumer Zeit behandeltes, in sich höchst mannigfaltiges und doch immer auf einen Zweck hingeleitetes Natur- und Kunstwesen einzutreten. Gebirge, aufgeschlossen durch Bergbau, bedeutende Naturprodukte roh aufgesucht, gewältigt, behandelt, bearbeitet, gesondert, gereinigt und menschlichen Zwecken unterworfen: Dieses war es, was ihn als einen Dritten, denn er lebte im Gebirge als Bergarzt, höchlich interessierte, indem er selbst eine tüchtige und wohl um sich her schauende Natur war, dabei Kenner des Altertums, gebildet durch die alten Sprachen, sich bequem und anmutig darin ausdrückend. So bewundern wir ihn noch jetzt in seinen Werken, welche den ganzen Kreis des alten und neuen Bergbaus, alter und neuer Erz- und Steinkunde umfassen und uns als ein köstliches Geschenk vorliegen. Er war 1494 geboren und starb 1555, lebte also in der höchsten und schönsten Zeit der neu hervorbrechenden, aber auch sogleich ihren höchsten Gipfel erreichenden Kunst und Literatur».

Im ersten der zwölf Bücher über die Metalle verteidigt Agricola die Bergmannskunst und die Metalle gegen alle Vorwürfe, die seit Menschengedenken erhoben worden waren. Dann zeigt er im zweiten Buch, wie der Bergmann vorzugehen habe, um Erze zu finden, in den folgenden Büchern, wie das Land zu vermessen sei, wie das Erz abgebaut, gefördert und verhüttet wird. Eine grosse Zahl von ihm selbst liebevoll und künstlerisch gezeichneter Bilder begleiten den Text. Das letzte Buch handelt von den Lebewesen unter Tag, wozu Agricola auch die Berggeister und Gnomen zählt. Die umfassenden Kenntnisse dieses Genies lassen den jähen Wechsel von mittelalterlicher Gesinnung zur beginnenden Wissenschaftlichkeit klar hervortreten, doch liegt über dem ganzen Werk noch der milde Glanz ehrfürchtiger Naturliebe.

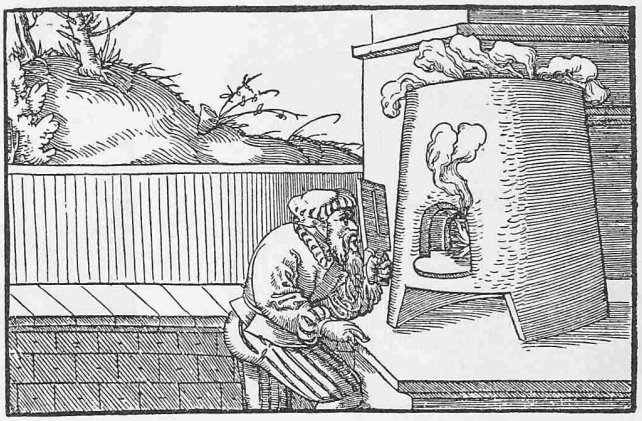

Bild 1. Agricola, runder Probierofen

II. Erforschung des Gefüges

So wie die Hand des Künstlers und des Handwerkers durch mannigfache Werkzeuge unterstützt und geschickt gemacht wird, so erhielt der Naturbeobachter der damaligen Zeit ein Wunder erschliessendes Hilfsmittel, das Mikroskop. 1590 erfand der holländische Brillenmacher Zacharias Jansen das zusammengesetzte Mikroskop. Im Verein mit den anderen, in der gleichen Epoche konstruierten Geräten (Fernrohr, Barometer, Thermometer) bestimmte es den Charakter der wissenschaftlichen Arbeit im folgenden siebzehnten Jahrhundert: Die experimentierende Methode dominiert, in ihrem Wesen liegt der Erfahrungsaustausch und damit die Gründung der grossen Gesellschaften: Academia del cimento, Royal Society, Académie Royale des Sciences.

Robert Hooke (1635—1703), dessen Eigenheiten in der Geschichte berühmter Naturwissenschafter vielleicht etwas stärker betont werden als die seiner Zeitgenossen, hat das unbestrittene Verdienst, mit einem selbst gebauten, verbesserten Mikroskop die ersten Untersuchungen an metallischen Objekten ausgeführt und beschrieben zu haben. In dem 1665 erschienenen Werk «Micrographia or philosophical description of minute bodies» finden wir neben der ältesten bekannten Abbildung eines zusammengesetzten Mikroskops (Bild 2) mit Beleuchtungsapparat zahlreiche, gut gezeichnete Bilder. Zwar sind sie nicht aus der Absicht der Gefügeuntersuchung entstanden; es ist vielmehr reizvoll zu bemerken, wie der ehemalige Geometrielehrer eine Nadelspitze und eine Rasiermesserschneide als schlechte Repräsentanten für Punkt und Gerade entlarvte.

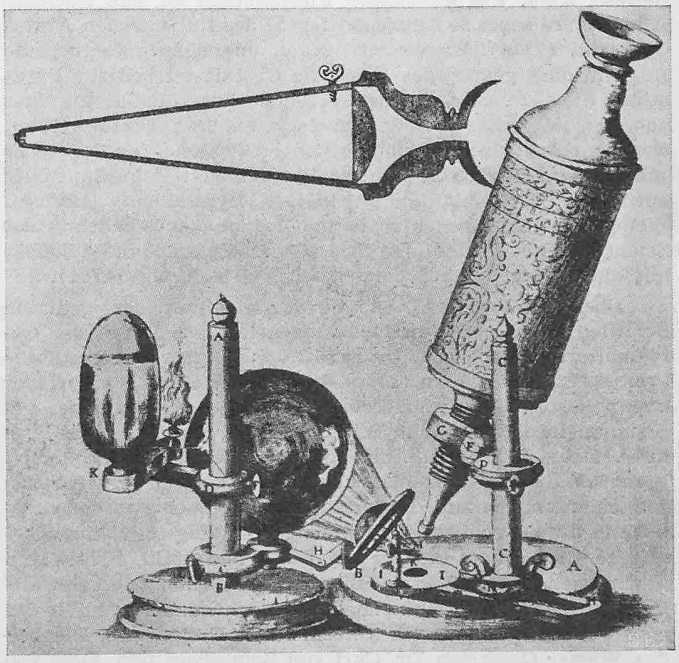

Bild 2. Hooke, Mikroskop mit Beleuchtung

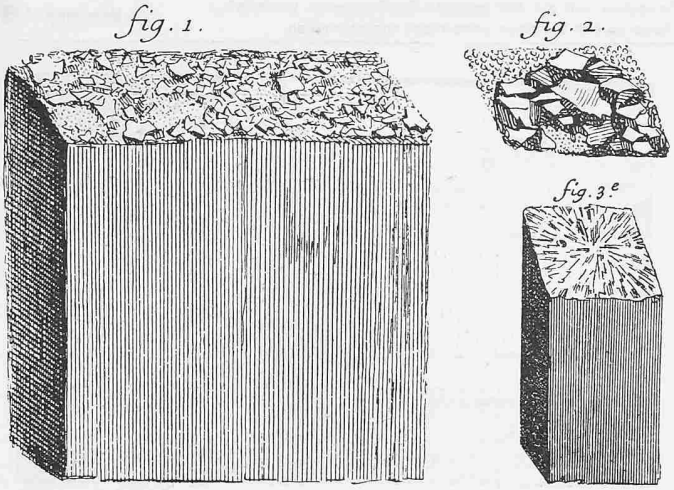

Bild 3. Réaumur, Beschreibung von Bruchgefügen

Sixième planche.
La fig. 1 est la cassure du fer que nous avons nommé à grandes, ou grosses lames.

La fig. 2 est un morceau de la cassure du même fer, mais dessiné grossi à la loupe, afin qu'on vit mieux l'irrégularité de l'arrangement des lames, et surtout qu'il y en a des placées dans différentes inclinaisons.

Onzième planche.
La fig. 3e est la cassure d'une autre fonte blanche, qui semble en quelque sorte radiée. Le plus souvent ces espèces de rayons qui tendent au centre, ne sont pas aussi bien marqués qu'ils le sont ici.

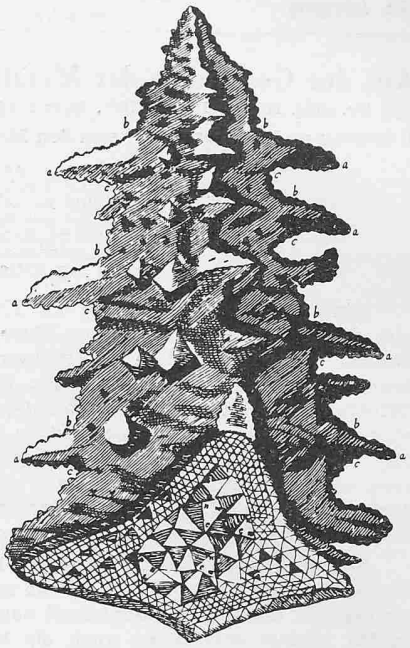

Bild 4 (rechts). Mazini, Pyramidenform des Eisens

René Antoine Ferchault de Réaumur (1683—1757) wurde durch seine Versuche über das Zementieren, Härten und Tempern ein bedeutender Förderer der Eisenmetallurgie. Sein grosses Werk «L'art de convertir le fer forgé en acier et l'art d'adoucir le fer fondu» gibt durch die breite Darstellung einen trefflichen Einblick in Réaumurs Denken und Arbeiten. Er erkannte den Zusammenhang zwischen Materialeigenschaften und Bruchmerkmalen und machte daher die Umgestaltung des Gefüges beim Härten und Tempern zum Gegenstand eingehender Untersuchungen. In seinen Gefügebeschreibungen treten schon die Begriffe «grains, lames, molécules» auf, auch die Zeichnungen haben bereits metallographischen Charakter (Bild 3).

Réaumurs Werk spiegelt aber auch das Bedürfnis nach Systematik und das Interesse am Wesen der Elementarteile wieder, welche die zeitgenössische Naturwissenschaft kennzeichnen. Wie fruchtbar deren Entwicklung auch für die Strukturerkenntnis der Metalle war, zeigt besonders schön der Begriff des Kristalls. Bis ins achtzehnte Jahrhundert hinein war «crystallus» gewissermassen Eigenname des Bergkristalls. Inzwischen waren die Formen der Mineralien und der erstarrten Metalle immer präziser erfasst worden. Es entstand das Bedürfnis, der Bezeichnung Kristall eine allgemeinere Bedeutung zu geben. Der Luzerner Arzt M. A. Kappeler tat dies als erster im Jahre 1723. Heute gehört die Tatsache des kristallinen Gefüges der Metalle zu den elementaren Kenntnissen. Darum erscheinen uns die Struktur- und Texturbeschreibungen zu Réaumurs Zeiten umständlich und schwerfällig. Sie sind jedoch als Ausdruck unablässiger Bemühungen um die richtige Erkenntnis zu deuten. Ein hübsches Beispiel solch wegbereitender Formstudien ist das Büchlein «Congetture sopra le figure del ferro» des italienischen Arztes G. Mazini (1714). Er vertritt gegen ungenannte Gegner die Ansicht, dass gegossenes Eisen die Gestalt vierseitiger Pyramiden habe. In einem seiner Versuche liess Mazini flüssiges Roheisen in Wasser giessen und erstarren. Das erkaltete Stück war dem Brot ähnlich, und in den Hohlräumen entdeckte er «einen engen Wald von eisernen Pyramiden, alle gezähnt oder seitlich verziert mit andern kleinen Pyramiden» (Bild 4). Wenige Jahrzehnte später legte Grignon der Académie des Sciences seine Abhandlung über «Crystallisations métalliques» mit klaren Zeichnungen dendritischer Gebilde vor (1761).

Ebenso interessant ist die Entwicklung des geätzten Schliffes. Auch er bildet heute ein geläufiges Detail der Gefügeuntersuchung. Zunächst gestaltete der grosse schwedische Praktiker Sven Rinman (1720—1792) das Aetzen geschliffener und polierter Flächen zu einer Untersuchungsmethode, um «... ungleiche Eisen- und Stahlsorten zu unterscheiden, was ihre Härte und Dichte und gleiche oder ungleiche innere Eigenschaften betrifft; man kann auch dadurch die Materien kennenlernen, die zum Damaszieren ausgesucht werden müssen und daraus schliessen, in welcher Ordnung sie aneinanderzulegen sind» (Vom Aetzen auf Eisen und Stahl, 1774). Ihre eigentliche Einführung in die Metallforschung erfuhr die Methode zu Beginn des neunzehnten Jahrhunderts durch den merkwürdigen Impuls eines kosmischen Ereignisses. Die beiden Wiener Gelehrten Dr. Carl von Schreibers und Alois von Widmannstätten waren im Mai 1808 als kaiserliche Kommissare zur Untersuchung des Meteorfalles von Stannern (Mähren) abgesandt worden. Auf Anregung Carl von Schreibers präparierte von Widmannstätten ein Stück Meteoreisen durch Schleifen und Anlassen im Feuer. Dabei entdeckte er die nach ihm benannten Figuren. Das gleiche Gefügebild wurde nachher auch durch Aetzen mit Salpetersäure erhalten. Einige der so behandelten Flächen dienten direkt als Matrizen für die Reproduktion. Noch heute berührt die Entwicklung eines Meteoreisengefüges den Metallographen tiefer als schönste Präparate technischer Metalle (Bild 5). Wenn man sich dazu die Begeisterungsfähigkeit damaliger Wissenschafter vorstellt, dann versteht man, dass in ganz Europa regstes Interesse für dieses Phänomen erwachte und jahrzehntelang anhielt. Es konnte keine stärkere Anregung zur Förderung der Wissenschaft vom Gefüge der Metalle geben als dieses eindrucksvolle Bild des Meteoreisens. Darin liegt die Bedeutung des Ereignisses für die Metallographie. Die Systematik des Meteoreisengefüges wurde hauptsächlich von Karl Ludwig von Reichenbach (1788—1869) begründet (Reichenbach'sche Trias: Kamazit, Taenit, Plessit). Unverkennbar ist die Tendenz, das Meteoreisengefüge mit demjenigen technischen Eisens zu vergleichen und auch da ähnliche Formen zu finden. Als Proben dienten vielfach Roststäbe aus Feuerungen, also stark rekristallisiertes Material.

Das Meteoreisen als Naturerscheinung war es auch, das den englischen Geologen Henry Clifton Sorby (1826—1908) interessierte. Geübt in der Herstellung und mikroskopischen Untersuchung von Gesteinsdünnschliffen, fand er den Weg zur erfolgreichen Betrachtung des ganz anderen Objektes. Neben dem schon bekannten Naturdruckverfahren bediente er sich der Photographie zur Reproduktion und führte diese

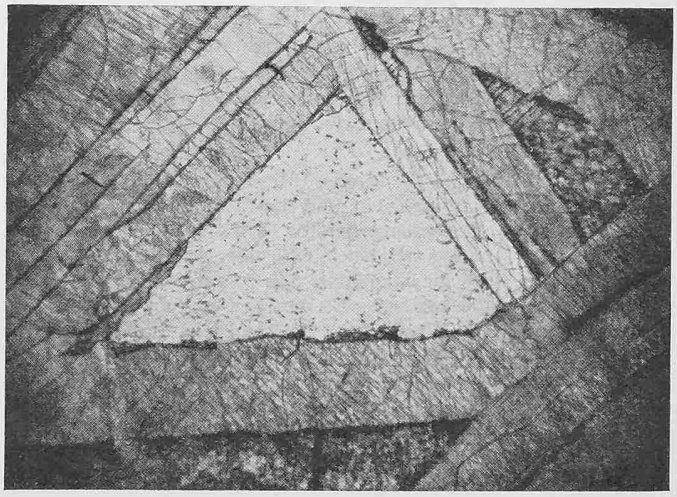

Bild 5. Meteoreisen, Schliffbild, Masstab 10 : 1

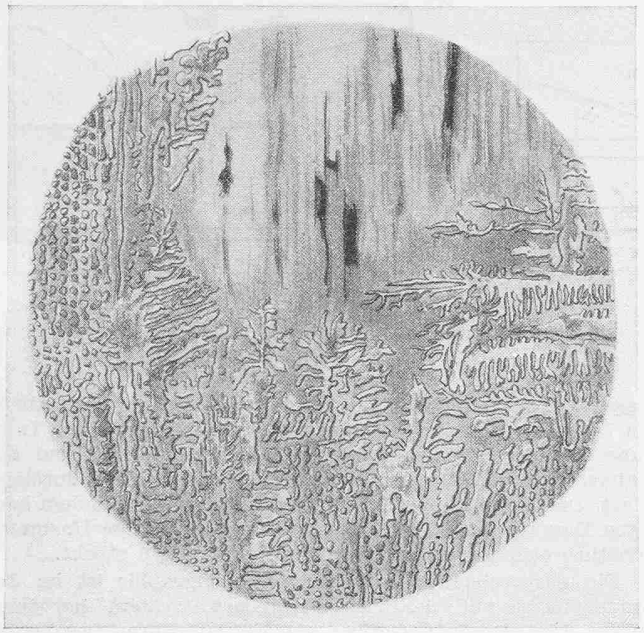

Bild 6. Gezeichnetes Bild eines Spiegeleisenschliffes

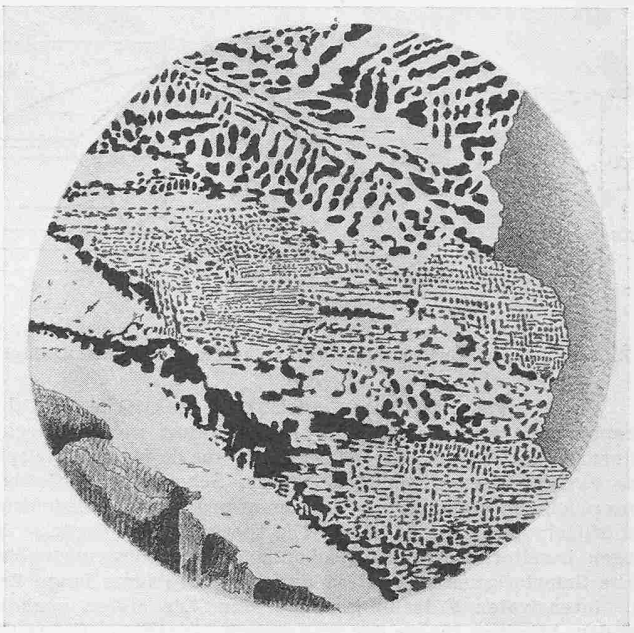

Bild 7. Gezeichnetes Bild eines Spiegeleisenschliffes

Technik zu grosser Vollkommenheit. So gelangte er zur Ueberzeugung, dass die mikroskopische Gefügeuntersuchung ein hervorragendes Hilfsmittel für die Metallurgie sei, und dehnte seine Untersuchungen auch auf technisches Eisen aus. Nach den ersten Veröffentlichungen 1864 referierte Dinglers Polytechnisches Journal (Bd. 178): «Sorby, über Struktur von Eisen und Stahl. Polierte, mit schwachen Säuren geätzte und mit Hilfe des Mikroskops in den Details vervollständigte Flächen wurden photographiert. Dabei zeigte Meteoreisen eine äusserst kristallinische Struktur, graues Roheisen Graphitkristalle, die auf der buntscheckigen Oberfläche des Metalles losgelöst sind; Feineisen: lange Linien harter Metallteile, die zu Zonen geordnet sind; Walzeisen zeigt sich im Gegensatz zu Luppeneisen frei von Schlacke und von eigentümlicher Textur, während schwedisches Eisen sich dem Stahl nähert; Zementstahl lässt deutlich den Vorgang des Zementierens erkennen, Gusstahl zeigt eine gleichförmige Anordnung der Kristalle.» Diese Notiz gibt eine Andeutung von Sorbys Tätigkeit und von der damaligen Ausdrucksweise. Erst nach vierzehnjähriger Pause folgten weitere Veröffentlichungen von Sorby, allein die Praxis griff seine bedeutsamen Anregungen nicht sogleich auf.

Unmittelbar aus dem technischen Milieu heraus — und wohl deshalb ohne Kenntnis der Arbeiten von Sorby — entwickelte Adolf Martens (1850—1914), Leiter der mechanisch-technischen Prüfanstalt in Berlin, die mikroskopische Gefügeuntersuchung des Eisens. Mit 26 Jahren veröffentlichte er die ersten Abhandlungen: «Ueber die mikroskopische Untersuchung des Eisens» und «Zur Mikrostruktur des Schmiedeeisens» (1876). Während wir heute fast ausschliesslich Schliffbilder betrachten und deuten, verknüpfte Martens mit betonter Sorgfalt die räumliche Konfiguration des Bruches mit dem ebenen Schnitt im Schliff. In der Zusammenfassung der Beobachtungen über die Mikrostruktur des Spiegeleisens schrieb Martens: «... Das Spiegeleisen als Roheisen besteht aus einem mechanischen Gemenge der chemischen Verbindung zwischen Eisen und Kohle und von Eisen ohne chemisch gebundenen Kohlenstoff. Die Bestandteile dieses Gemenges lagern sich regelmässig und nach bestimmten Gesetzen ineinander ab, wobei der erstgenannte Bestandteil nach dem rhombischen (faserig, splitterig bis säulenförmig), der zweite nach dem quadratischen System (tannenbaumförmig bis oktaedrisch) kristallisiert. Die Einzelbestandteile nehmen die Anlauffarben verschieden schnell an und können daher in den Schliffen scharf und deutlich erkannt werden» (Bilder 6 u. 7).

Ebenso aufschlussreich wie die Arbeiten von Martens selbst sind die Diskussionsberichte der Fachgesellschaften. Sie zeigen, wie die Vorbedingungen zur praktischen Anwendung auf breiter Basis eifrig verbessert wurden.

In der Literatur werden zuweilen Sorby und Martens, einzeln oder zusammen, als die Begründer der Metallographie vorgestellt. Wenn dadurch der Eindruck entsteht, es hätte vorher keine Gefügebetrachtung gegeben, so muss er korrigiert werden. Nach einer langen Epoche des Entdeckens und Beschreibens seit dem sechzehnten Jahrhundert gaben Sorby und Martens der Metallstrukturforschung in den siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts die zeitgemässe Gestalt. Diese Feststellung vermindert ihre grossen Verdienste in keiner Weise, aber sie macht uns auf die Bedeutung der Konstellationen im Lauf einer geschichtlichen Entwicklung aufmerksam. Der Name Metallographie wurde im Jahre 1892 eingeführt.

III. Thermische Analyse

Für sich allein wäre die Gefügekenntnis eine interessante, dem Praktiker unentbehrliche Prüfmethode geblieben. Zum Rang einer Wissenschaft gelangte die Metallographie, als die Zusammenhänge zwischen Gefüge und Erstarrungs- und Umwandlungsvorgängen erfasst wurden. Die Grundlagen dazu lieferte die physikalische Chemie. Hier begegnet der Rückblick einer wesentlich kürzeren Ereignisfolge. Als Vorarbeiten darf man die Untersuchungen über Diffusion und Osmose bezeichnen (Nollet 1748, Dutrochet 1827, Graham 1850), weil hier die ersten Beziehungen zwischen fester und flüssiger Phase formuliert wurden. Lässt man sich wieder von der Frage nach der Entdeckung wichtiger Gesetzmässigkeiten und der Entstehung bekannter Begriffe leiten, so wird man inmitten unzähliger Detailuntersuchungen des vorigen Jahrhunderts zu den Arbeiten des englischen Chemikers Frederick Guthrie (1833—1886) geführt. Durch seine systematischen Versuche über die Kristallisationsvorgänge an Salzlösungen fand er die Konzentrationen mit einheitlichem Erstarrungspunkt; er nannte sie eutektische Mischungen. Guthrie wies auch bereits auf die Uebereinstimmung im Verhalten der Salzlösungen und der Legierungen hin. Eine Reihe binärer und ternärer Eutektika wurde anschliessend bekannt: Bi-Cd, Bi-Pb, Bi-Sn, Pb-Sn, Bi-Pb-Sn; die letzten drei sind von Charpy 1898 bestimmt worden.

Trotz mancher Erkenntnisse blieb das Anfangstadium der thermischen Analyse phänomenologisch-empirisch, bis die Thermodynamik Anwendung auf das Gleichgewicht sich berührender Körper fand. 1874 entdeckte der amerikanische Physiker J. Willard Gibbs (1839—1903) die Phasenregel. Sie nimmt wegen ihrer umfassenden Bedeutung und vielseitigen Anwendbarkeit eine besondere Stellung unter den bis dahin gefundenen Gesetzen ein. H. W. Bakhuis Roozeboom (1834 bis 1907) führte die Phasenregel in die Theorie der heterogenen Gleichgewichte ein und gewann so die eindrucksvolle Uebersicht der möglichen Erstarrungsformen von Zweistoffsystemen (1899). Dies war der Beginn einer sehr fruchtbaren Einwirkung der physikalischen Chemie auf die Metallographie. Zahlreiche Gelehrte erweiterten das Wissensgebiet bis auf den heutigen Stand. Sie sind der jetzigen Generation zum Teil als Forscher und Lehrer noch bekannt.

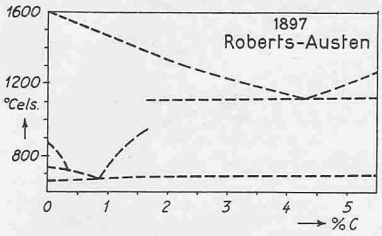

Bild 8a

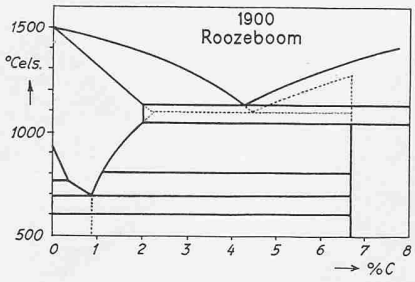

Bild 8b

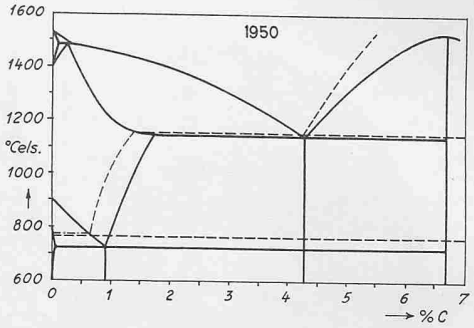

Bild 8c

Bilder 8a bis c. Entwicklungsstufen des Eisen-Kohlenstoffdiagramms

Unterdessen hatte aber auch die praktische Metallographie eine sehr bedeutsame Entwicklung in thermischer Hinsicht begonnen. Aus ihr ragt als markantestes Beispiel das System Eisen-Kohlenstoff hervor. Schon bei der Gefügeuntersuchung stand es wegen seiner praktischen Bedeutung im Mittelpunkt alles Strebens. Die thermischen Vorgänge dagegen bereiteten der wissenschaftlichen Deutung ungewöhnliche Schwierigkeiten, so dass ungelöste Probleme lange Zeit zur intensivsten Forschung anspornten. Die ersten grundlegenden Arbeiten führte der französische Ingenieur Floris Osmond (1849—1912) durch. Er entdeckte die Polymorphie des reinen Eisens und bestimmte aus Abkühlungskurven die Umwandlungspunkte im Zusammenhang mit dem Kohlenstoffgehalt an Proben mit 0,08, 0,16, 0,29, 0,57, 1,25 und 4,10 Prozent Kohlenstoff (1885). Auch die thermische Hysteresis (Ac/Ar) wurde von ihm beobachtet. Nach der von Osmond entwickelten Härtungstheorie wird durch das Abschrecken die bei höherer Temperatur stabile Modifikation ins Gebiet gewöhnlicher Temperatur gebracht. Der Kohlenstoff vermindert lediglich die Umwandlungsgeschwindigkeit. Den Allotropisten standen die Karbonisten gegenüber, sie erklärten die Härte aus verschiedenen Formen des Kohlenstoffs (Härtungskohle in Gestalt winziger Diamanten). Diese ersten Arbeiten führten noch nicht zum Zustandsdiagramm, sie brachten auch keine abschliessende Klärung der Probleme, aber wenige Jahre später gewann das Bild schärfere Konturen. Henri Le Chatelier (1850—1936), bekannt durch die Konstruktion eines Thermoelementes (1887) und eines Metallmikroskops (1897), betonte in seinem «État actuel de la théorie de la trempe» (1897) die Gleichartigkeit der Kristallisationsvorgänge in flüssigen und festen Lösungen. Dies förderte die Erklärung der Vorgänge in erstarrten Stählen. Das erste Zustandsdiagramm der Eisen-Kohlenstofflegierungen veröffentlichte 1897 C. W. Roberts-Austen (1843—1902) im «Fourth report to the alloys research committee» (Bild 8a). Es ist die Zusammenfassung der damaligen Versuchsergebnisse mit dem Hinweis, dass zwischen dem Erstarrungsbild Salz-Wasser und Eisen-Kohlenstoff der wesentliche Unterschied einer festen Lösung Kohlenstoff in Eisen bestehe. Die Erscheinungen werden dadurch kompliziert, dass die Löslichkeit mit sinkender Temperatur abnehme. Auf Grund der theoretischen und praktischen Ergebnisse stellte Roozeboom ein neues Zustandsdiagramm auf (Bild 8b). Es zeigte als wichtigen Fortschritt die Soliduslinie der γ-Mischkristalle (1900). Die klare Trennung des metastabilen Systems Eisen-Eisenkarbid und des stabilen Systems Eisen-Graphit wurde von E. Heyn durchgeführt. Der Vergleich zweier Entwicklungsstufen mit dem heutigen Diagramm (Bild 8c) lässt uns ahnen, welche Unsumme von theoretischer und praktischer Arbeit darin steckt.

Ein ansprechendes Detail der Metallographie ist im Zusammenhang mit dem Eisen-Kohlenstoffsystem hervorzuheben: Die einzelnen Gefüge wurden zu Ehren verdienter Forscher benannt: Austenit, Martensit, Hardenit, Troostit, Sorbit, Osmondit, Ledeburit.

Die Bedeutung der Metallographie erstreckt sich heute auf alle Gebiete der Metallverarbeitung, und sie greift damit — oft unbemerkt — in viele Zweige des täglichen Lebens. Darum ist es anregend, auch die Entwicklung der Metallographie auf dem Hintergrund der allgemeinen Geschichte von Wissenschaft und Technik zu studieren. Aus Unterlagen, welche die Eisenbibliothek der Georg Fischer A.-G. in Schaffhausen freundlich zur Verfügung stellte, entstand diese historische Skizze. Sie möchte zeigen, wie die Grundzüge der heutigen Metallographie zu verstehen sind aus dem Zusammenschluss zweier Tätigkeitsgebiete, dem Betrachten des Gefüges als etwas Gewordenem und dem Erforschen der Zustandsänderungen beim Erstarren und Umwandeln.

Die Geschichte der Wissenschaft
ist die Wissenschaft selbst. (Goethe)

Literaturverzeichnis

[1] *G. Agricola:* Zwölf Bücher vom Berg- und Hüttenwesen (1556). Agricola-Gesellschaft beim Deutschen Museum 1928.
[2] *G. Mazini:* Congetture sopra le figure del ferro, Brescia 1714.
[3] *A. de Réaumur:* L'art de convertir le fer forgé en acier et l'art d'adoucir le fer fondu, Paris 1722.
[4] *A. Martens:* Mikroskopische Untersuchung von Eisen, «Z. VDI» 1878. Mikroskopische Untersuchung des Kleingefüges von Eisen, «Stahl und Eisen» 1889.
[5] *H. Wedding:* Die Mikrostruktur des Eisens, «Stahl und Eisen» 1887.
[6] *P. Goerens:* Einführung in die Metallographie, 1906.
[7] *R. Ruer:* Metallographie in elementarer Darstellung, 1907.
[8] *E. Rengade:* Analyse thermique et métallographie microscopique, 1909.
[9] *O. Kröhnke:* Kurze Einführung in den inneren Gefügeaufbau der Eisen-Kohlenstofflegierungen, 1911.
[10] *O. Vogel:* Lose Blätter aus der Geschichte des Eisens, Die Anfänge der Metallographie, «Stahl und Eisen» 1917.

Die Elektrifikation der Strecke Paris-Lyon der SNCF

DK 621.331 : 625.1(44)

Von der im Jahre 1944 beschlossenen Elektrifizierung der Gesamtstrecke Paris-Lyon, deren Verkehrsleistung unter allen Bahnverbindungen Frankreichs an erster Stelle steht, konnte am 31. August 1950 die Teilstrecke Laroche-Dijon und am 8. Oktober 1950 die Strecke Paris-Dijon dem vollelektrischen Betrieb übergeben werden. Die Strecke Dijon-Lyon soll aus finanziellen Gründen nur schrittweise auf elektrische Traktion umgebaut und voraussichtlich im Jahre 1953 fertiggestellt werden. Durch die Elektrifikation der Strecke Paris-Dijon konnten die Reisezeiten bereits beträchtlich verringert werden, so für die Strecke Paris-Lyon um 1 h 40 min oder 24 %, für Paris-Marseille um 1 h 55 min = 17 % und für Paris-Genf um 1 h 10 min = 13 %. In späteren Etappen sollen die Strecken Mâcon-Bourg-Ambérieu, Lyon-Ambérieu und Culoz-Bellegarde auf elektrische Traktion umgebaut werden, so dass man alsdann von Paris über Modane nach Italien und über Bellegarde nach der Schweiz elektrisch reisen kann.

Durch die Elektrifikation der Strecke Paris-Lyon, die insgesamt 3540 Mio fr. f. (rd. 44,25 Mio sFr.) kosten wird, sollen jährlich 339 Mio fr. f. (rd. 4,25 Mio sFr.) an Betriebskosten und überdies rd. 600 000 t verkokbarer Kohle eingespart werden, die der französischen Stahlindustrie zugute kommen.

Die Traktionsenergie wird zum Teil von den thermischen Kraftwerken in der Umgebung von Paris über die Grosschaltstation Créney, zum Teil von den Wasserkraftwerken des Zentralmassivs, namentlich des Dordognebeckens, und in besonderem Masse vom Rhonekraftwerk Génissiat geliefert. Diese Werke speisen eine längs der Strecke laufende 60-kV-Leitung, an welche die Unterstationen angeschlossen sind. Mit Rücksicht auf die schon elektrifizierten Strecken Paris-Orléans, Culoz-Modane und Sète-Nîmes wurde als Traktionsenergie Gleichstrom von 1500 V gewählt, der in 52 Umformerstationen erzeugt wird. Jede Station enthält 1 bis 3 Einheiten, bestehend je aus einem Transformator und einem Quecksilberdampf-Gleichrichter. Diese Einheiten sind auf Rollen montiert, so dass sie rasch ausgewechselt werden können. Unterstationen mit nur einer 4000-kW-Einheit, für die bei Ausfall die beiden Nachbarstationen einspringen können, befinden