

die Aufmerksamkeit erregt haben dürften, in hohem Grade strengflüssig sind und daher jedenfalls erst viel später benutzt wurden.

Eisen läßt sich schmieden, d. h. rotglühend durch Hämmern oder Walzen in beliebige Form bringen, schweißen (2 Stücke in der Weißglühhitze in eins zusammenhämmern) und gießen. Die Höhe des Kohlenstoffgehalts bestimmt im wesentlichen die technischen Eigenschaften des Eisens. Chemisch reines Eisen ist für die Benutzung zu weich. Mit dem Kohlenstoffgehalt nimmt die Dehnbarkeit (Geschmeidigkeit) ab, die Schmelzbarkeit aber zu. Man unterscheidet danach: Schmiedbares Eisen (mit bis zu 2,3 v. H. Kohlenstoffgehalt), schmilzt bei 1300—1800⁰ C) und Roheisen (mit mehr als 2,3 v. H. Kohlenstoff, schmilzt bei 1000 bis 1200⁰ C. Schmiedeeisen mit 0,6 bis 2,3 v. H. Kohlenstoff, das man als Stahl bezeichnet, läßt sich härten, indem man es erhitzt und dann rasch in Wasser, Öl oder dgl. abkühlt. Stahl wird durch Anlassen, d. i. langsames Erhitzen und langsames Abkühlen, wieder weich, so daß er leicht zu bearbeiten, selbst kalt zu schneiden ist.

Roheisen (Gußeisen) ist spröde, wie zu harter Stahl und leicht zerreißbar; es setzt leichter Rost an, als Schmiedeeisen.

Meteoreisen ist z. T. wegen seines Gehaltes an Nickel und Phosphor so schwer teil- und hämmerbar, daß einzelne Meteorblöcke jedem Versuch dazu widerstanden haben, während andere Stücke sich ausgezeichnet bearbeiten ließen. Ob die erste Bekanntschaft mit dem Eisen auf die Verwendung von Meteoreisen zurückzuführen ist, oder ob man erst nach der Kenntnis des aus Erzen gewonnenen Eisens auch die Meteor-eisenstücke erkannte und (wegen ihres himmlischen Ursprungs mit Vorliebe zu Waffen) verarbeitet hat, mag dahingestellt bleiben. Jedenfalls besteht zwischen dem Ausschmieden eines Meteoreisenstücks und der Auf- findung und Verschmelzung der Eisenerze kein innerer Zusammenhang. Wenigstens für die frühe Kenntnis des Meteoreisens sprechen jedenfalls die Bezeichnung der Ägypter für Eisen als Himmelsmetall (griechisch σιδηρος), ihre Vorstellung vom Himmel als einer unermeßlichen Eisendecke und (nach Gardner) der Nachweis von Nickel in einigen Eisenwaffen aus vorgeschichtlicher Zeit, die demnach aus Meteoreisen hergestellt sein müßten.

Als älteste Stätten der Eisenerzeugung und Hauptbezugsquellen des Eisens für die alten Kulturvölker des Ostens lassen die Überlieferungen übereinstimmend die lange mittelasiatische Gebirgskette erkennen, die vom Kaukasus bis nach Tibet reicht. Natürlich deuten die Nachrichten der einzelnen Völker jeweilig auf das ihnen zunächst liegende Gebiet. Von besonderer Bedeutung erscheint der Kaukasus, wo die pontischen Chalyber saßen, von denen schon die Assyrer die Eisenverarbeitung übernahmen und nach denen die Griechen den Stahl χαλύψ benannten. Durch das ganze Altertum, auch von den Römern, hochgeschätzt war serisches (indisches) und parthisches Eisen (Stahl). Aus Asien bezogen auch die Ägypter das meiste Eisen, da der Ertrag der uralten Bergwerke am Sinai (s. S. 3) für den Bedarf nicht ausreichte und der frühzeitige Bezug von Eisenarbeiten aus Äthiopien durch die jahrhundertelangen Kämpfe zwischen beiden Reichen unterbrochen wurde. Für Griechenland war das erzeiche Euböa (alter Name Chalkis) die wichtigste, für die Etrusker und Römer Elba die nächste und noch heute nicht erschöpfte Eisenquelle. Doch war das Eisen von Elba zu weich. Die Römer bezogen daher Stahl aus Spanien, dessen reiche Eisenschätze schon die Phönizier und Karthager ausgebeutet hatten, aber auch schon frühzeitig aus Noricum (Steyrmark, Kärnten und Krain), wo ebenso wie in Belgien und Britannien die Eisengewinnung uralte war.

2. Schmiedeeisen und Gußeisen. Erste Bearbeitung der Eisenluppen.

Die Gewinnung schmiedbaren Eisens erfolgte während des ganzen Altertums, ja bis zum Ende des Mittelalters direkt aus den Erzen und (vielleicht gerade weil das Verfahren eines der leichtesten aller metallurgischen ist) in nahezu derselben ursprünglichen Weise — wie heute noch z. B. im Sudan — in Gruben, auf offenen, schmiedefeuerähnlichen Herden oder in kleinen, halb oder ganz geschlossenen Öfen mit Hilfe von Holzkohlen und Blasebalg.

Eine altägyptische Darstellung zeigt die Verarbeitung der Erze in einer flachen Grube, der aus dem einfachen Blasebalg, den ein Negersklave tritt, durch ein Bambusrohr Luft zugeführt wird.

Bei der geringen Hitze, die sich bei solchen Herden oder Öfen erreichen ließ, konnte von einem Ausschmelzen selbst der leichtflüssigen Eisenerze zu flüssigem Roheisen nicht die Rede sein; es wurde

vielmehr nur ein breiiger Klumpen nicht schlackenfreien, schmiedbaren Eisens gewonnen (die Luppe), die man durch wiederholtes Glühen oder Ausschmieden wie unser Stabeisen verarbeiten konnte. Natürlich konnte man das nicht flüssig gewordene Eisen auch nicht gießen.

Das gewonnene Eisen war aber auch von sehr ungleicher Härte, da es wesentlich vom Zufall abhing, ob härteres oder weiches Eisen erzeugt wurde. Wo die Beschaffenheit der Erze die Bildung harten Eisens besonders begünstigte, wurde von Anfang an meist Stahl erzeugt; so war das indische, chalybische, spanische und norische Eisen durch seine besondere Härte ausgezeichnet. Das künstliche Härten des Stahls war bei verschiedenen Völkern sehr früh bekannt.

Der Betrieb, die sogenannte Rennarbeit, blieb Kleinbetrieb, auch trotz (oder wegen?) der ausgiebigen Verwendung von Sklaven bei den semitischen Völkern und namentlich den Römern. Das Ergebnis an Eisenklumpen (Luppen) war natürlich nur gering.

So schildert noch der bekannte Chemnitzer Arzt Georg Agricola (1490—1555), der Begründer der metallurgischen Literatur, in seinen Libri XII de re metallica die Eisengewinnung und den Betrieb der Blasebälge durch Menschen und Tiere (Treträder und Göpel). Er beschreibt aber auch die Verarbeitung von schwerer flüssigen Erzen, zu der mehr Hitze und Zug nötig war, in höheren Öfen (Stück- oder Wolfsöfen).

Solche waren in Steiermark schon im Mittelalter in Gebrauch. In ihnen wurden die Erze langsamer und darum gleichmäßiger und vollständiger vorbereitet, auch bei geringerem Kohlenverbrauch etwas größere Mengen von Eisen gewonnen, wobei aber der Schmelzverlust doch noch sehr hoch war (etwa die Hälfte des Erzgehaltes).

Für den Betrieb der Blasebälge war seit dem Ende des Mittelalters die Wasserkraft nutzbar gemacht. Dabei geschah es infolge mangelnder Erfahrung, daß man zu viel und zu stark gepreßten Wind in die Öfen einblies und infolgedessen eine so starke Hitze bekam, daß statt der Luppen teigigschmiedbaren Eisens flüssiges Eisen (Roheisen) entstand, das wie Schlacke abfloß. Anfangs hielt man dieses für verdorbenes (verbranntes) Eisen, bis man erkannte, daß es viel gleichmäßigeres Schmiedeseisen und Stahl ergab, wenn man es auf dem Herde nochmals erhitzte und seinen Kohlenstoffgehalt durch Zufuhr von Sauerstoff mittels Blasebälgs verringerte (Frischprozeß). Man konnte also das Roheisen sowohl unmittelbar als Gußeisen, als mittelbar als schmiedbares Eisen verwenden. Nun begann die absichtliche Darstellung von Roheisen in mehr und mehr erhöhten Öfen mit stärkeren Gebläsen, und so entwickelten sich allmählich die Hochöfen, die in der ersten Hälfte des 15. Jahrhunderts im Rheingebiet und Flandern aufgekommen zu sein scheinen, deren Gebrauch sich aber erst langsam verbreitete.

Agricola kannte sie noch nicht, während sein Zeitgenosse Vanuccio Biringuccio aus Verona, der erste italienische Schriftsteller über Metallurgie, sie erwähnt. In England sind die Hochöfen erst Mitte des 16. Jahrhunderts (wohl von Deutschland aus) eingeführt.

Auch ihr Ertrag an Eisen war zunächst gering und nahm erst allmählich zu, als die Steinkohlenfeuerung und der Puddelprozeß eingeführt wurden. Die gesamte Eisenproduktion Englands betrug nach Gardner zur Zeit der Holzkohlenfeuerung niemals mehr als 17 000 Tons jährlich und ging infolge der Waldverwüstung um 1725 sogar bis auf etwas über 12 000 Tons zurück. Der Ilsenburger Hochofen lieferte Ende des 16. Jahrhunderts (vgl. Wedding, Beiträge zur Geschichte des Eisenhüttenwesens im Harz, Zeitschrift des Harzvereins 1881) täglich etwa 750 kg Roheisen, ein Stückofen in Vordernberg (Steiermark) 1714 20 Zentner, ebensoviel der erste Kokshochofen des Kontinents in Gleiwitz 1796, dessen Leistung aber schon 1800 derjenigen der englischen Hochöfen in Horsehay mit drei Tons täglich gleichkam.

Die vielfach vertretene Ansicht, daß auch der Eisenguß erst mit den Hochöfen aufgekommen sei, erscheint nicht stichhaltig.

Nach Gurlt (Bergbau und Hüttenkunde, 2. Auflage, S. 128), sollen sich die ersten Spuren einer gewerbsmäßigen Herstellung von Roheisen schon im Anfang des 13. Jahrhunderts im Siegerlande und bei Schmalkalden finden. (?) Gardner führt eine gußeiserne Grabplatte in der Kirche zu Burwash an als Beweis, daß der Eisenguß schon im 14. Jahrhundert in Sussex bekannt war. Gußeiserne Kanonen werden (nach Beck I, S. 912) zuerst in Flandern (1412) und bei der Belagerung von Karlstein im Hussitenkriege (1422) erwähnt. Zwei kleine, gußeiserne Kanonen aus Pöbneck aus der Zeit 1400—1420 (nach Essenwein, Quellen zur Geschichte der Feuerwaffen) besitzt das Germanische Museum in Nürnberg.

Gußeiserne Ofenplatten und anderes wird man also zur selben Zeit hergestellt haben. Agricola erwähnt die Herstellung gußeiserner Öfen in der Eifel, im Sauerland und in Gießhübel-Lauenstein (Erzgeb.)

Erwähnt sei, daß Gardner bezweifelt, daß die so nahe liegende Entdeckung der Schmelzbarkeit des Eisens erst gegen Ende des Mittelalters gemacht sein sollte, indem er auf verschiedene Schriftsteller (Aristoteles u. a.) hinweist, die vom Flüssigmachen des Eisens reden. Vgl. auch Liger, La ferronnerie, über die Eisenbereitung der Römer und Griechen, Gallier und Britannier, sowie die Ergebnisse der von Napoleon III. veranlaßten Forschungen (Bulliot, fouilles de Bibracte, Revue Archéologique 1869) und Beck I, S. 655 ff. Nach Bulliot sind in den gallischen Werkstätten von Bibracte Spuren von Gebläseeinrichtungen gefunden worden, aber er sagt, „die Öfen konnten nicht zum Gießen von Eisen oder zur Erzeugung von Roheisen dienen.“

Auch die Hochöfen wurden anfangs mit Holzkohlenfeuerung betrieben, bis die Waldverwüstung zu Anfang des 18. Jahrhunderts namentlich in England einen so erschreckenden Umfang annahm, daß man auf Abhilfe sinnen und zur Steinkohle greifen mußte.

Die Steinkohlen waren zuvor längst bekannt und zum Schmieden u. a. verwendet (in Lüttich seit 1200, in England noch länger), aber ihre Verwendung war noch zu Anfang des 16. Jahrhunderts beschränkt, ihr Abbau nur Tagebau. Jahrhundertlang wurde im englischen Parlamente ein erbitterter Kampf gegen ihre Verwendung in den Städten geführt (wegen der Luftverschlechterung). Die ersten Patente auf Verwendung von Steinkohlen zum Schmelzen von Eisen im Hochofen wurden in England 1619, auf dem Kontinent 1627 in Lüttich erteilt.

Höchst bemerkenswert ist deshalb, daß schon 1584 Herzog Julius von Braunschweig-Lüneburg nach den von ihm verfaßten „Vorschriften für die Verwendung von Steinkohlen in Schmelz-, Vitriol- und Salzwerken“ (Wolfenbütteler Bibliothek) das Verkoken der Steinkohlen probiert hat, „auf daß man die Kohlen soviel bequemer zum Stubenheizen, Feuerkaminen und Schornsteinen ohne großen Rauch und bösen Gestank gebrauchen kann“. Aber auch noch die Versuche Daniel Stumpffelds in Anhalt 1640 wie die gleichzeitige Erbauung des ersten Kokshochofens durch Dudley in England blieben ohne praktischen Erfolg (letztere infolge des Bürgerkriegs). Erst 1735 wurde die Verkokung in Colebrookdale in Shropshire wirklich eingeführt, nachdem mit Beginn des 18. Jahrhunderts durch die Nutzbarmachung der Dampfkraft auch die Schwierigkeiten im Abbau und im Transport der Steinkohlen in den Bergwerken usw. überwunden waren.

Mit der dem stetig wachsenden Bedarf folgenden Roheisenerzeugung konnte aber dessen Verwandlung in schmiedbares Eisen durch den Frischprozeß auf dem Herde nicht Schritt halten, dafür waren Steinkohlen nicht verwendbar, weil bei der unmittelbaren Berührung zwischen Kohle und Eisen ihr Schwefelgehalt das Schmiedeeisen verdarb. Dadurch gewann zunächst das Gußeisen, das man in Flammöfen mit Steinkohlen umschmelzen konnte, einen erheblichen Vorsprung in der Anwendung für größere, namentlich Bauaufgaben, der für lange Zeit bestimmend werden sollte.

Erst nach geraumer Zeit gelang es, eine Konstruktion des Flammofens zu finden, in welcher das Roheisen mit Steinkohlenfeuerung geschmolzen und durch Umrühren und Verkochen in schmiedbares Eisen umgewandelt werden konnte: Patent von Cort, 1784, Puddelprozeß. Durch nochmaliges Walzen und Hämmern in Schweißhitze werden die so gewonnenen Eisenluppen von den Unreinigkeiten und Beimengungen befreit, die bei dem gewöhnlichen Herstellungsverfahren darin verbleiben.

Mit dieser Erfindung war das Übergewicht des eisen- und steinkohlenreichen Englands über die übrigen Eisenindustriestaaten auf lange Zeit gesichert, aber auch die Bahn geöffnet für die außerordentliche hüttentechnische Entwicklung des 19. Jahrhunderts, die zur umfassenden Eisenverwendung der Gegenwart führte und deshalb mit dieser im nächsten Bande entsprechend zu behandeln sein wird.

* * *

Die Verarbeitung der im alten Rennverfahren gewonnenen Eisenluppen für den Gebrauch war im Altertum und Mittelalter Sache jedes einzelnen Schmiedes. Wenn

auch die Luppen am Erzeugungsorte überschmiedet, wohl auch zu kurzen Stäben umgeformt wurden, so war dies doch keineswegs für den Gebrauch fertiges Eisen, und er mußte sich jeden Stab und jedes Blech, das er für seine Arbeit brauchte, selbst ausstrecken und das Eisen erst noch gehörig durcharbeiten.

Dieser ungeheuren, jetzt kaum noch verständlichen Erschwerung der weiteren Einzelarbeit stand freilich eine mit jeder Erleichterung der Vorarbeiten abnehmende Beherrschung des von Anfang an selbstbereiteten Materials gegenüber, die sich in der Vollendung der nur mit Hand und Hammer ausgeführten kunstvollen Schmiede-, Schweiß- und Treibarbeiten des 12. und 13. Jahrhunderts am deutlichsten erkennen läßt.

Wohl kannten auch die Alten schon große Fallhämmer zum ersten Überschmieden der Luppen, aber wie geringwertig blieb deren Bewegung durch Menschenkraft schon im Vergleich zu der im späteren Mittelalter einsetzenden Verwendung der Wasserkraft! Nun entstanden bei den Eisenhütten Stab- und Blechhammerwerke (Zainhämmer), in denen nicht nur aus den Luppen gebräuchliche Stabformen und Bleche als Handelsware hergestellt, sondern auch das Eisen durch Ausschmieden und Zusammenschweißen von Stabbündeln erheblich verbessert wurde, bevor es in die Hände des Schmiedes gelangte. Auch größere Schmiedestücke, Anker, schwere Hämmer u. dgl., aber auch frühzeitig schon oft sich wiederholende Formstücke für allerhand Schmiede- und Schlosserarbeit wurden von diesen Hammerwerken auf Vorrat gefertigt. Ebenso wurde die Wasserkraft zum Betriebe von Drahtmühlen verwendet; aber wichtiger als diese waren, insbesondere für die architektonische Verwendung des Eisens, die bereits von Leonardo da Vinci angegebenen und im Laufe des 16. und 17. Jahrhunderts ausgebildeten Streck- und Schneidwerke, die Anfänge unserer Walzwerke, in denen zwischen durch Wasserräder getriebenen Walzen die Stäbe erst der Länge nach ausgewalzt (gestreckt) und dann zwischen scherenartig ineinandergreifenden Scheiben in schmale, der Breite der Scheiben entsprechende Stäbe gespalten wurden. Nach Einführung des Puddelprozesses begann dann die umfassende Ausbildung des Walzverfahrens, auf die wir heute zurückblicken können; auch auf diese wird im 2. Bande noch zurückzukommen sein.

Natürlich bedeutete das Walzverfahren einen außerordentlichen Fortschritt nicht nur in der leichteren Herstellung, namentlich langer und starker Stangen, sondern auch in der Erzielung gleichmäßiger Querschnitte, und bald folgte auch die Anwendung der Walzen zur Herstellung von Profilen (erstes Patent darauf von John Paine, 1728). Damit war die Möglichkeit zur Entwicklung der großen Stabgitterwerke der Barock- und Rokokozeit geschaffen, die letzte der wesentlichsten Entwicklungsstufen in der Rohverarbeitung des schmiedbaren Eisens bis zum Ende des 18. Jahrhunderts erreicht.

Auf die Techniken der weiteren Verarbeitung wird bei der Darstellung der geschichtlichen Entwicklung der Schmiedekunst mehrfach einzugehen Gelegenheit sein, im übrigen sei auf die übersichtliche Darstellung Sempers („Der Stil“, II. Hauptstück) verwiesen.

Diese kurze Übersicht des Entwicklungsganges zeigt, wie überaus langsam die Verfahren sowohl der Eisengewinnung, wie der Verarbeitung des Rohmaterials sich vervollkommen haben. Sie erschien deshalb für das Verständnis der geschichtlichen Entwicklung unerläßlich. Jahrtausendlang ist die einfachste, ursprünglichste Weise nahezu unverändert beibehalten worden; auch die bedeutendsten Kulturvölker des Altertums haben darin, obwohl sie in der weiteren Metallbearbeitung und in der Metallkunst Außerordentliches leisteten, fast gar nichts getan. Wie fremd sie diesen Fragen gegenüberstanden, beweisen ja auch die unvollkommenen und vielfach unklaren Angaben selbst der bedeutendsten und sorgfältigsten Schriftsteller, wie Aristoteles, Plinius u. a. Erst in der neueren Zeit und zwar ausschließlich bei den germanischen Völkern (auch

Leonardo da Vinci war bekanntlich von deutscher Abstammung) sind die Gedanken entsprungen und mit zähester Ausdauer verwirklicht worden, die über die Handarbeit hinaus eine wirkliche Massenverwendung und Massenmeisterung der Metalle ermöglicht haben.

3. Die Verarbeitung der Metalle. Die Techniken und deren Entwicklung.

In der gesamten Metallverarbeitung sind vier große (stilbestimmende) Gruppen der Formgebung zu unterscheiden:

1. Blecharbeit (ausgehämmert oder gewalzt, ausgeschnitten, gestanzt): Belegen — Verkleiden — Treiben.

Versteifung durch Buckel, Rillen, Rippen, Profile, Pfeifen, Auflagen, äußeres und inneres Rahmenwerk usw.

2. Drahtarbeit (gehämmert, gezogen oder gewalzt und gezogen): Spirale — Flechtwerk — Filigran — Gitterwerk.

3. Guß (Voll- und Hohlguß): Herdguß in flacher, oben offener Form (aus Stein usw.), in der also nur auf einer Seite geformte und verzierte Gegenstände gegossen werden können. — Guß in fester Doppelform, die wie die offene immer wieder zu benutzen ist, aber aus zwei aufeinandergepaßten Schalen besteht. — Guß in Sandform als Vollguß, der durch Abformen eines immer wieder benutzten harten Modells (aus Stein, Metall usw.) in feuchtem Sand entsteht (Massenerzeugung). — Guß in verlorener Form (Hohlguß) mit Modell aus Wachs, das über festem Kern (aus Ton) modelliert, in einen Tonmantel eingesetzt und vor Eingießen des Metalls ausgeschmolzen wird; Kern und Mantel werden nach dem Erkalten des Gusses abgeklopft; also Einzelguß; für jedes Stück ist ein neues Modell erforderlich. — Zur Herstellung von Unterschneidungen Anwendung von Teilformen (weitere Ausbildung der Doppelformen) und Einlage von Keilen in die abnehmbaren Formen (Keilguß).

4. Arbeiten aus dem Vollen: Meißelarbeit (Metallschnitt) d. i. Formgebung durch Wegnehmen überflüssiger Teile — Schmieden.

Ihnen dienen zahlreiche Techniken

a) zur notwendigen Vorbereitung und Vervollkommnung der Arbeit wie zur Erhöhung der Materialwirkung und Brauchbarkeit: Zusätze (Legierungen) zum flüssig-, hämmerbar- oder hartmachen, wie zum Färben der Metalle. — Nachträgliche Härteverfahren — Damaszieren

b) zum Anfügen von Teilen: Nieten — Löten — Schweißen (weich löten mit Zinn, hart löten mit Kupferlegierung)

c) zur Vervollkommnung und Verschönerung der Oberfläche: Schleifen, Polieren, Ziselieren (Glätten und Überarbeiten der Oberfläche mit dem Punzen), — Überziehen mit edleren und ansehnlicheren Metallen (auch zum Schutz): Vergolden, verzinnen usw. — Färben durch Anlassen, Beizen (patinieren) usw. — Gravieren und Ätzen — Niellieren und Tauschieren u. a. m.

* * *

Als erste, ursprünglichste Form der Metallverarbeitung finden wir bei den noch auf der Kindheitsstufe ihrer Entwicklung stehenden Völkern das Aushämmern von gediegen vorgefundenen Metallen (Gold und Kupfer) zu dünnen Blechen, die zum Schmuck des Körpers, der Kleidung, bevorzugter Geräte, der