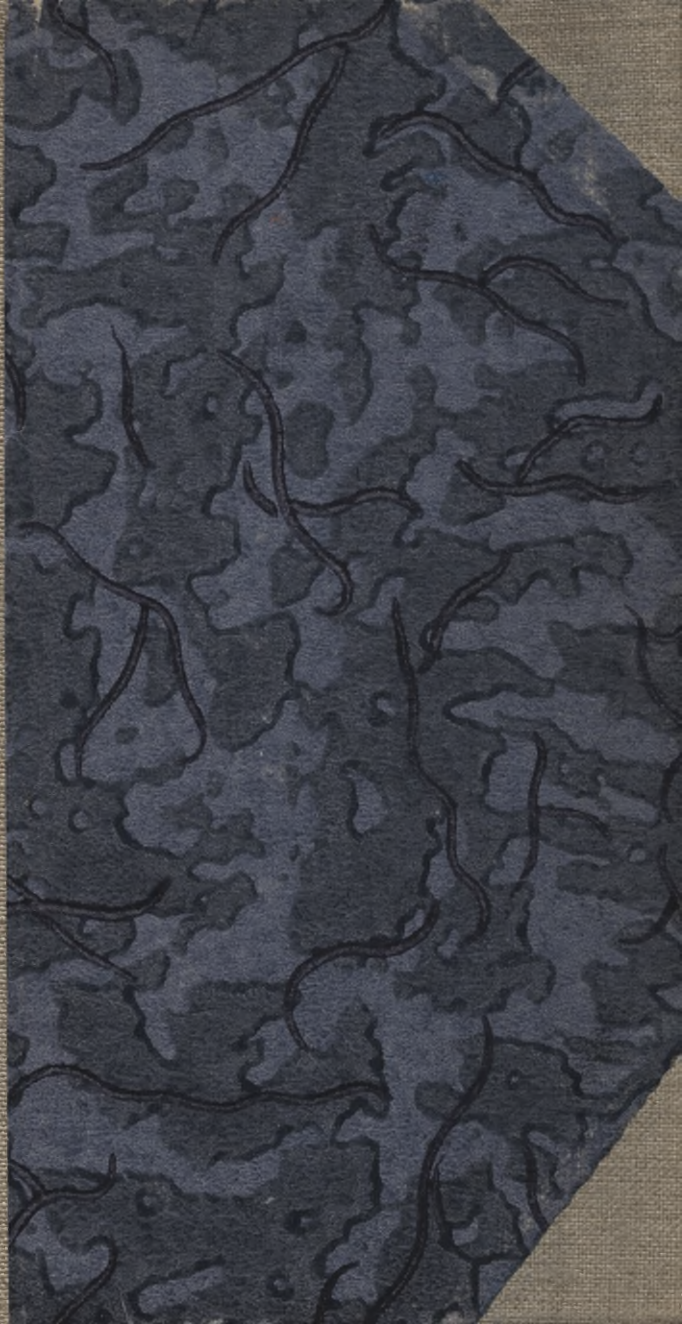


20



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000295968

Aus Natur und Geisteswelt

Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen

20. Bändchen

Das Eisenhüttenwesen

Von

Dr. H. Wedding

weil. Geheimem Bergrat, Professor an der
ehemaligen Kgl. Bergakademie und der
Kgl. Technischen Hochschule zu Berlin

Fünfte Auflage

21. bis 26. Tausend

Von

F. W. Wedding

Mit 22 Abbildungen



W

322574

xx

133

Verlag und Druck von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin 1918



57
H. 20.72

1-301481

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

~~T 380~~

Schutzformel für die Vereinigten Staaten von Amerika:
Copyright 1918 by B. G. Teubner in Leipzig

BPU-3-62/2017
Alle Rechte, einschließlich des Übersetzungsrechts, vorbehalten

57-05-K
Ktc. Nr.

~~3583~~ 149

Vorwort zur ersten bis fünften Auflage.

Die ersten drei Auflagen des vorliegenden Werkes waren von meinem verstorbenen Vater verfaßt, der hierin das Eisenhüttenwesen in Form gemeinverständlicher Vorträge dargestellt hatte. Die vierte Auflage, deren Bearbeitung mir seinerzeit von der Verlagsbuchhandlung übertragen war, hatte dann eine im Sinne meines Vaters liegende vollständige Neubearbeitung erfahren müssen, weil in der Zwischenzeit auf dem Wissensgebiete große Fortschritte gemacht waren und weil die technische Vorbildung aller Kreise derart gefördert war, daß von vornherein von den Lesern des Werkes ein höheres Maß an Kenntnissen vorausgesetzt werden konnte als in früheren Jahren.

Die günstige Aufnahme, die die vierte Auflage gefunden hatte, hat mich darin bestärkt, den einmal eingeschlagenen Weg in der Auswahl und Anordnung des Stoffes im wesentlichen beizubehalten. Der Inhalt der meisten Kapitel hat jedoch eine Bereicherung erfahren, und zwar vorwiegend auf Kosten des zweiten Kapitels, das teils gekürzt auf die übrigen Kapitel verteilt, teils gestrichen werden konnte, weil der Stoff in anderen inzwischen erschienenen Bändchen der Sammlung, z. B. in dem über Chemie, zu finden ist. Immerhin konnte der Gesamthalt naturgemäß nur auf das Allerwichtigste aus dem großen Wissensgebiete beschränkt bleiben. Diejenigen Leser, die ausführlicher hierüber unterrichtet sein möchten, seien auf das Werk des Verfassers: „Grundriß der Eisenhüttenkunde“, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, verwiesen, dessen vollständig neubearbeitete sechste Auflage voraussichtlich im Frühjahr 1919 erscheinen wird.

Möge das Bändchen dazu beitragen, die Kenntnis vom Eisen in die weitesten Kreise zu tragen. Das Eisen ist der unentbehrlichste metallische Stoff für den Menschen, und wir Deutsche haben dem Eisen ganz besonders viel zu danken, weil sich auf ihm eine unserer vielseitigsten und bedeutendsten Industrien aufbaut, die nicht nur sehr wesentlich zur Stärkung unserer Weltmachtstellung beigetragen, sondern uns auch die Möglichkeit gegeben hat, unser Vaterland nun schon vier Jahre hindurch siegreich gegen eine Welt von Feinden zu verteidigen.

Freisenbruch bei Steele (Ruhr), im August des Kriegsjahres 1918.

F. W. Wedding.

Inhaltsverzeichnis.

Dorwort zur ersten bis fünften Auflage	III
Erstes Kapitel. Die Geschichte des Eisens	1
Älteste geschichtliche Überlieferungen. Die Eisendarstellung im Altertum, im Mittelalter und in der Neuzeit. Die Eisenindustrie der wichtigsten Eisen erzeugenden Länder, insbesondere Deutschlands. Über den ungeheuren Eisenverbrauch der Gegenwart und die Bedeutung großer Eisenerzvorräte für Deutschland in Krieg und Frieden.	
Zweites Kapitel. Statistisches	14
Höhe der Eisenerzförderung in den hierfür wichtigsten Ländern. Eisenerzeinfuhr, =ausfuhr und =versorgung Deutschlands. Wichtigkeit des Besitzes des französisch-lothringischen Eisenerzvorkommens für Deutschland. Höhe der Steinkohlen- und Braunkohlenförderung sowie der Koks-, Roheisen- und Flußeisenerzeugung in den wichtigsten Ländern. Statistische Einzelangaben über Deutschlands Hochofen-, Schweiß-, Flußeisen- und Walzwerke sowie Eisen- und Stahlgießereien: Verbrauch an Rohstoffen, Menge und Wert der Erzeugnisse, Zahl der Betriebe und Arbeiter. Zahl und Löhne der in der gesamten Eisenindustrie Beschäftigten.	
Drittes Kapitel. Das reine Eisenmetall und die Eisentohlenstofflegierungen	21
Grundstoffe. Das reine Eisenmetall und seine wichtigsten Eigenschaften. Zusammengesetzte Stoffe. Legierungen. Allgemeines über die kristalline Struktur der technischen Eisenorten. Das Kleingefüge und seine Bedeutung. Kristallisation und Kleingefüge der Eisentohlenstofflegierungen.	
Viertes Kapitel. Die Eigenschaften des technisch verwerteten Eisens	31
Abhängigkeit der Eigenschaften vom Kleingefüge. Festigkeitseigenschaften (Festigkeit, Elastizität, Zähigkeit). Härte. Elektrische Leitfähigkeit. Magnetische Eigenschaften. Säurebeständigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen Rost. Schmelzbarkeit. Schwindung, Lunkerung, Gasblasenbildung, Seigerung. Schmiedbarkeit. Schweißbarkeit. Härtbarkeit.	
Fünftes Kapitel. Einteilung und Benennung des technisch verwerteten Eisens	42
Unterscheidungsmerkmale zwischen schmiedbarem Eisen und Roheisen, zwischen weißem und grauem Roheisen, zwischen Schmiedeisen und Stahl. Benennung einzelner Sorten nach verschiedenen Gesichtspunkten.	

Sechstes Kapitel. Die Brennstoffe.	46
Allgemeines über die Verbrennung. Natürliche Brennstoffe: Holz, Torf, Braunkohlen, Steinkohlen. Künstliche Brennstoffe: Holz- kohle, Koks. Gründe der Ungeeignetheit der Steinkohlen als Hoch- ofenbrennstoff. Koksogas. Gichtgas. Vorteile der Heizung mit gasförmigen Brennstoffen. Generatorgas.	
Siebentes Kapitel. Die für die Darstellung des Eisens wichtig- sten Rohstoffe und ihre Vorbereitung für die Verhüttung.	54
Eisenerze: Magnet-, Rot-, Braun- und Spateisenerze. Sonstige eisenhaltige Rohstoffe. Manganhaltige Eisenerze und Mangan- erze. Zuschläge. Röstung, Agglomerierung, Bricketierung, nasse und magnetische Aufbereitung.	
Achstes Kapitel. Allgemeines über die Darstellung des technisch verwerteten Eisens	62
Reduktion und Oxydation.	
Neuntes Kapitel. Die Darstellung des Roheisens	65
Allgemeiner Überblick. Vorbereitung der Luft für den Hochofen- prozeß. Winderhitzer. Trodnung. Der Hochofen. Der Hochofen- prozeß. Roheisendarstellung im elektrischen Hochofen. Die Erzeug- nisse des Hochofenprozesses und ihre Verwendung: Roheisen, Schlacke, Gichtgase.	
Zehntes Kapitel. Die Darstellung des schmiedbaren Eisens.	83
A. Die Darstellung des schmiedbaren Eisens aus Roheisen.	
1. Die Darstellung des Schweißeisens: Das Puddelverfahren.	
2. Die Darstellung des Flußeisens: Das Bessemer- und das Thomasverfahren (Windfrischen). Das Siemens-Martin-Ver- fahren (Herdfischen).	
3. Die Darstellung des schmiedbaren Gusses: Das Glühfrischen oder Tempern.	
B. Die Darstellung veredelten schmiedbaren Eisens.	
1. Die Darstellung des Zementstahls und die Oberflächenhärtung.	
2. Die Darstellung des Tiegelstahls.	
3. Die Darstellung des Elektrostahls.	
Elfte Kapitel. Die Formgebung und die mechanische und ther- mische Behandlung des Eisens	116
Schmieden. Pressen. Walzen. Eisen- und Stahlgießerei.	
Sachverzeichnis	127

Verzeichnis der Abbildungen.

- Abb. 1 u. 2 (S. 68 u. 69): Cowper-Winderhizer. Vertikal- und Horizontalschnitt. Aus Wedding, Handbuch der Eisenhüttenkunde. 2. Aufl. Bd. III (Vieweg & Sohn, Braunschweig).
- Abb. 3 (S. 71): Hochofen. Vertikalschnitt. Aus Geiger, Handbuch der Eisen- und Stahlgießerei Bd. I (Springer, Berlin).
- Abb. 4 u. 5 (S. 84): Einfacher Puddelofen. Längs- und Horizontalschnitt.
- Abb. 6 u. 7 (S. 89): Bessmerbirne (Konverter). Seitenansicht und Vertikalschnitt. Aus Wedding, Grundriß der Eisenhüttenkunde. 5. Aufl. (Ernst & Sohn, Berlin).
- Abb. 8 u. 9 (S. 98 u. 99): Siemens-Martinofen. Längs- und Querschnitt. Aus „Hütte“, Taschenbuch für Eisenhüttenleute (Ernst & Sohn, Berlin).
- Abb. 10 (S. 112): Héroultofen. Querschnitt. Aus Wedding, Handbuch der Eisenhüttenkunde Bd. IV.
- Abb. 11 u. 12 (S. 114 u. 115): Röchling-Rodenhauserofen. Horizontal- und Vertikalschnitt. Aus Rodenhauser-Schoenawa, Elektr. Öfen in d. Eisenindustrie (Oskar Leiner, Leipzig).
- Abb. 13 (S. 118): Walzvorgang. Aus Ledebur, Lehrbuch der mechanisch-metallurgischen Technologie. 3. Aufl. (Vieweg & Sohn, Braunschweig).
- Abb. 14 (S. 118): Glatte Walze. Aus Ledebur, Technologie. 3. Aufl.
- Abb. 15 (S. 118): Kaliberwalzen.
- Abb. 16 (S. 120): Walzvorgang beim Umkehrwalzwerk.
- Abb. 17 (S. 121): Walzvorgang beim Dreiwalzwerk.
- Abb. 18 (S. 121): Dreiwalzwerk. Aus Meyer, Lehrbuch der mechan. Technologie der Metalle (Dr. Max Jänecke, Hannover).
- Abb. 19 bis 21 (S. 124): Kastenformerei mit Modellen. Aus Meyer, Lehrbuch der mechan. Technologie der Metalle.
- Abb. 22 (S. 125): Schablonenformerei. Aus Meyer, Lehrbuch der mechan. Technologie der Metalle.

Erstes Kapitel.

Die Geschichte des Eisens.

Jahrtausende alte Eisenfunde, bildliche Darstellungen und Inschriften an Kulturdenkmälern längst untergegangener Völker geben Zeugnis davon, daß die Menschen schon in grauester Vorzeit verstanden, sich das Eisen dienstbar zu machen.

In einer inneren Steinfuge der Cheopspyramide, die etwa 3000 v. Chr. gebaut wurde, hat man das Bruchstück eines eisernen Werkzeuges gefunden, das schon beim Bau hineingeraten sein muß, also ein Alter von fast 5000 Jahren hat. In anderen ägyptischen Pyramiden beobachtet man bisweilen noch alte Nägel und Bolzen aus Eisen, die bei dem Bau der Pyramiden zur Befestigung der Taue dienten. In Basreliefs aus Grabstätten jener Zeit deuten die mit stahlgrauer Farbe angelegten Teile von Pflügen, Sägen, Meißeln, Beilen und anderen Werkzeugen darauf hin, daß jene aus schmiedbarem Eisen bestanden. In der Bibel wird das Eisen mehrfach erwähnt. So heißt es z. B. im Buch Hiob 28, 2: „Eisen bringet man aus der Erde, und aus den Steinen schmelzet man Erz.“ Auch der Stahl, jenes besonders harte, schmiedbare Eisen, muß damals schon bekannt gewesen sein; darauf läßt der Bibelausspruch schließen: „Man schärft Eisen mit dem Eisen.“ In Damaskus blühte seit Urzeiten ein berühmtes Stahlgewerbe (Damaszener Klingen), ebenso aus Indien und China sind uns Überlieferungen von einer seit Jahrtausenden dort ausgeübten Eisentechnik erhalten. Auch im alten Griechenland war das Eisen allbekannt. Homer sagt bereits in der Ilias:

„Hierauf stellt den Schützen der Held blaushimmerndes Eisen,
Zehn zweischneidige Ärt' und zehn der Beile zum Kampfspreis“.

In Italien hatten bereits die alten Etrusker eiserne Waffen und Geräte.

In Nordeuropa, besonders in den nachmaligen germanischen Ländern wurde Eisen schon neben Steinwerkzeugen in der vor-

geschichtlichen Steinzeit verwertet, wie Funde aus Gräbern jener Zeit beweisen. Auch die alten Germanen waren mit der Eisenerbereitung schon vollkommen vertraut, als sie in die Weltgeschichte eintraten. Stählerne Speere, Schwerter, Messer und Ätze verstanden sie von jeher meisterhaft zu schmieden.

Der Mangel an naturwissenschaftlichen Kenntnissen der Alten brachte es mit sich, daß die Darstellung des Eisens im Altertum nur in sehr unvollkommener Weise geschah und seine Verarbeitung zu gebrauchsfertigen Gegenständen mit den denkbar einfachsten Hilfsmitteln erfolgte. Entsprechend dem geringen Bedarf an Eisen hielt sich die Eisenerbereitung auch nur in ganz bescheidenen Grenzen. Geschichtliche Überlieferungen über die Verfahren zur Darstellung des Eisens im Altertum sind kaum vorhanden; wir können uns aber aus den Resten kleiner Eisenerbereitungsstätten jener Zeit und der Art und Weise, wie heute noch Naturvölker das Eisen gewinnen, ein Bild davon machen, wie jene Eisenerzeugung vor sich ging. Möglichst reines und leicht schmelzbares Eisenerz wurde in kleinen, in lebhafter Glut gehaltenen Holzkohlenfeuern (Kernteuern) niedergeschmolzen, und zwar in Gruben, auf Herden oder in niedrigen aus Steinen, Lehm und feuerfestem Ton aufgebauten Öfen (Stücköfen, Wolfsöfen). Dabei erzielte man nach mehrstündiger Schmelzzeit einen nur wenige Kilogramm schweren Klumpen (Luppe, Wolf, Deul, Stück) eines teigartigen Schweißeisens, das aus lose zusammenhängenden Eisentörnern bestand, meist eine recht ungleichmäßige Zusammensetzung hatte und reichlich mit Schlacke durchsetzt war. Zur Verdichtung und Verschweißung der einzelnen Körner, zur Erhöhung der Gleichmäßigkeit und vor allem zur Entfernung eines Teils der eingeschlossenen Schlacke wurde die Luppe mit einer Zange gefaßt, mit einem Hammer ordentlich durchgesehenet und, wenn nötig, nach Zerteilung in mehrere Stücke unter nochmaliger Erhitzung weiter vergütet, um dann schließlich durch Schmiedearbeit zu Gebrauchsgegenständen wie Waffen, Werkzeugen und Ackergeräten geformt zu werden. Die Schmelzstätten errichteten die Hüttenleute mit Vorliebe auf eisenerreichen, bewaldeten Bergkuppen oder Abhängen. Dort hatten sie nicht nur Erze und gleichzeitig Bäume, aus denen sie sich die Holzkohlen in Meilern herstellten, in der Nähe, sondern ein frischer Wind unterhielt ihnen dort auch besser

das Feuer in den Stücköfen als in den windgeschützten Tälern. Erst später lernte man allenthalben, die für die Rennfeuer in Gruben und Herden schon längst benutzten Blasebälge zur künstlichen Erzeugung des Windes auch für die Stücköfen zu verwenden, und machte sich so ganz unabhängig vom natürlichen Luftzuge.

Im Altertum wurden die Blasebälge noch durch Menschenkraft bewegt. Im Mittelalter aber, als man zur Erzielung eines höheren Ausbringens allmählich dazu überging, die Stücköfen etwas größer zu bauen, und für deren Betrieb stärkere „Gebläse“ gebrauchte, kam man auf den Gedanken, diese ähnlich wie die Mühlenräder durch Wasserkraft antreiben zu lassen. Im übrigen änderte sich an der Art der Darstellung des schmiedbaren Schweiß Eisens unmittelbar aus den Erzen im Rennfeuer- und Stückofenbetrieb auch im Mittelalter nur wenig. Trotz seiner Unvollkommenheit — man gewann bei verhältnismäßig großem Aufwand an Brennstoff nur die Hälfte des im Erz enthaltenen Eisens — hielt sich das Verfahren das ganze Mittelalter hindurch, in einzelnen Gegenden sogar bis weit in die Neuzeit hinein. Daneben brachte das Mittelalter aber auch sehr wesentliche Fortschritte in der Eisengewinnung mit sich. Der ständig steigende Bedarf an Eisen, die daraus sich ergebende Notwendigkeit, auch schwerer schmelzbare Eisenerze zu verhütten, sowie auch günstige Betriebsverfahren mögen die Eisenhüttenleute des Mittelalters veranlaßt haben, die Stücköfen bald einige Meter hoch zu bauen und entsprechend stärkere Gebläse zu verwenden. Die stärkere Windpressung einerseits, der größere Rauminhalt der Öfen und die damit verbundene geringere Abkühlung der Schmelzstoffe andererseits bewirkten eine so günstige Wärmeausnutzung des Brennstoffs im Ofen, daß das Eisen nicht nur als Schweiß Eisen im teigigen Zustande, sondern zum Teil auch als „Roheisen“ im flüssigen Zustande gewonnen wurde. Mit dem letzteren wußte man anfänglich gar nichts anzufangen, denn schmieden ließ es sich nicht und um Gießen war es auch nicht immer ganz geeignet, wohl weil es meistens sog. weißes Roheisen war, das dickflüssig und nach dem Gusse schwer bearbeitbar war. Man gab derartiges Roheisen daher oft nochmals in den Ofen. Erst als man infolge noch höherer Temperaturen im Ofen vorwiegend das dünnflüssigere,

leichter vergießbare und besser bearbeitbare graue Roheisen gewann, lernte man es bald zu verwenden, indem man es in Formen goß. Zu Anfang des 15. Jahrhunderts konnte man bereits kleine Kanonen und Kugeln aus Roheisen gießen, ferner Röhre und allerlei Gegenstände des täglichen Gebrauchs. Zu besonders hoher Blüte gelangte im Mittelalter das Gießen künstlerisch entworfenener Platten für Zimmeröfen. Auch die Bearbeitung des schmiedbaren Eisens zeitigte damals die schönsten Erfolge. Die Rüstungen und Waffen jener Zeit zeugen von einer bewundernswerten Vollendung der Schmiedekunst.

Im weiteren Verlaufe des Mittelalters machten die Hüttenleute die bedeutsame Beobachtung, daß das Roheisen durch wiederholtes Umschmelzen in einem dem Rennfeuer ähnlichen Holzkohlenfeuer bei Zuführung eines reichlichen Luftstromes und womöglich unter Zusatz von etwas Erz und Eisenschlacke sich in ein vorzügliches schmiedbares Eisen verwandelte, und zwar ebenso wie beim Rennfeuerbetrieb in ein schlackenhaltiges Schweißeisen. Sie wußten damals natürlich noch nicht, daß diese Umwandlung auf der Einwirkung des in der Gebläseluft sowie in dem Erz und den Eisenschlacken enthaltenen Sauerstoffs beruhte, der einen Teil der im Roheisen vorhandenen Elemente, besonders des Kohlenstoffs, Siliziums und Mangans verbrannte. Jenes Verfahren zur Umwandlung des Roheisens in schmiedbares Eisen nannte man Frischen, das Feuer, in dem das Frischverfahren durchgeführt wurde, Frischfeuer und das hierin erzeugte Schweißeisen Frischeisen oder Frischfeuer Eisen. Die Vergütung dieses Frischfeuer Eisens erfolgte auf gleiche Weise wie beim Rennfeuerbetrieb. Die indirekte Darstellung des schmiedbaren Eisens, die also darin bestand, erst Roheisen herzustellen und dieses dann durch Frischen in schmiedbares Eisen zu verwandeln, fand nach und nach immer mehr Anklang, und in dem Maße, wie sich dieses Verfahren verbreitete, nahm das früher allein ausgeübte Verfahren zur direkten Darstellung des Schweißeisens aus Erzen in Rennfeuern und Stücköfen, die sog. Rennarbeit, mehr und mehr ab. Wegen der ausgezeichneten Eigenschaften des Erzeugnisses haben sich die Frischfeuer in einzelnen Gegenden in geringem Umfange noch bis zur Gegenwart gehalten, so z. B. in Schweden, Ungarn, Bosnien.

Die zweifache Verwendungsmöglichkeit des Roheisens, einerseits

zum Gießen, andererseits als Ausgangsstoff für die Schweißeisendarstellung, trug derart zur Erhöhung des Bedarfs bei, daß man immer größere Öfen baute, um die Erzeugung zu steigern. Im 16. Jahrhundert erreichten die Stücköfen bereits Höhen bis zu 6 Meter und darüber. Solche Öfen können nach ihrer Form und der Art ihres Betriebes schon als Vorläufer unserer heutigen großen Hochöfen betrachtet werden. Die Leistungen jener ersten Hochöfen waren allerdings im Vergleich zu denjenigen der neuzeitlichen Riesenöfen noch recht gering. So lieferte z. B. ein im Jahre 1544 zu Ilseburg am Harz errichteter Ofen gegen Ende des 16. Jahrhunderts nur annähernd 750 kg Roheisen am Tage, während die leistungsfähigsten der heutigen Hochöfen eine 500- bis 800mal so große durchschnittliche Tageserzeugung aufweisen.

Der ständig zunehmende Verbrauch an Holz zu den verschiedensten Zwecken brachte es mit sich, daß sich die Wälder immer mehr lichteteten, und das Holz immer teurer wurde. Die Eisenhüttenleute mußten sich daher nach einem anderen Brennstoffe als Holzkohle umsehen. Es lag nahe, als Ersatz dafür Steinkohlen zu verwenden, aber diese eigneten sich mit wenigen Ausnahmen aus Gründen, die noch an anderer Stelle erörtert werden sollen, nicht für die Roheisendarstellung im Hochofen. In dem Bestreben, die Steinkohlen auf irgendeine Weise für den Hochofenprozeß verwertbar zu machen, kam man dann bald auf den Gedanken, sie nach dem Vorbilde der Holzkohle darstellung unter Luftpfechtung zu erhizen. So erhielt man den Koks. Dieser eignete sich vorzüglich als Hochofenbrennstoff; er hatte nur den einen großen Nachteil, daß er einen der größten Feinde des Eisens enthielt, den Schwefel, der leicht ins Eisen überging und dessen Eigenschaften verschlechterte. Aber hiermit wußten die Eisenhüttenleute sich bald abzufinden, indem sie Mittel und Wege fanden, einen großen Teil des Schwefels für das Eisen unschädlich zu machen.

Die ersten, die infolge Holzmangels Koks oder geeignete Steinkohlen für das Hochofenverfahren anwenden mußten, waren die Engländer. Sie hatten hiermit schon zu Beginn des 17. Jahrhunderts Versuche gemacht, aber erst vom Jahre 1735 ab wurde die Roheisenerzeugung mit Koks für die Dauer eingeführt. In Deutschland wurden die ersten Versuche mit Koks im Jahre 1767 zu Sulzbach (Saargebiet) angestellt, der erste überhaupt für Koks-

betrieb berechnete Hochofen wurde aber erst 1796 in Gleiwitz (Oberschlesien) erbaut. Steinkohlen oder Koks auch zum Frischfeuerbetrieb mit Erfolg zu verwenden, gelang nicht, denn hierbei kam das zu frischende Roheisen von neuem mit dem schwefelhaltigen Brennstoff in engste Berührung und nahm den Schwefel aus ihm auf, ohne daß man dies wie beim Hochofenprozeß hätte einschränken können. Doch es wurde höchste Zeit, auch die Darstellung des schmiedbaren Eisens in Unabhängigkeit von der Holzkohle zu bringen, besonders in England, wo das Holz immer spärlicher und teurer wurde. Aus dieser mißlichen Lage befreite der Engländer Cort die Eisenindustrie seines Vaterlandes, indem er im Jahre 1783 ein neues Frischverfahren, das „Puddeln“, erfand. Bei diesem Verfahren, das in einem Flammofen vor sich ging, konnten Steinkohlen als Brennstoff dienen, denn sie kamen mit dem Eisen nicht in unmittelbare Berührung, nur ihre heißen Feuergase strichen darüber hin. Mit dem Puddelverfahren, das später noch wichtige Verbesserungen erfuhr, konnte man in gleicher Zeit mit weit geringeren Kosten zehnmal mehr schmiedbares Eisen herstellen als mit dem Frischfeuerbetrieb. Neben dem Puddelverfahren wurde im 18. Jahrhundert noch eine andere wichtige Erfindung gemacht; es war die Darstellung des Gußstahls (jetzt Tiegelstahl genannt) durch den Engländer Huntsman. Zum ersten Male war es hierbei gelungen, durch ein hüttenmännisches Verfahren, nämlich durch ein Umschmelzen von Schweißstahl in Tiegeln schmiedbares Eisen im flüssigen Zustande (Flußeisen) herzustellen und daher ein schlackenfreies Erzeugnis zu erhalten. Der Tiegelstahl kam in Deutschland im 19. Jahrhundert besonders zu Ehren durch Friedrich Krupp in Essen. Dieser verstand es, durch Zusammengießen mehrerer Tiegel einen großen Block zu schaffen, der nach sachgemäßer mechanischer und thermischer Behandlung den denkbar besten, hochwertigsten Stahl ergab. Den flüssigen Tiegelstahl ähnlich wie das Roheisen unmittelbar zum Gießen von Gebrauchsgegenständen zu verwenden, gelang erst um das Jahr 1850 in Bochum.

Es war ein merkwürdiger Zufall, daß zu derselben Zeit, als das Puddelverfahren aufkam, von James Watt die Dampfmaschine erfunden wurde. Damit war eine neue große Zeit für das Eisenhüttenwesen angebrochen. Mit dem Dampf konnten die Ge-

bläse, die Hämmer und späterhin die Walzwerke angetrieben werden, und nun waren die Eisenhütten nicht mehr abhängig von den Flußläufen in einsamen Waldtälern. Sie konnten sich dahin ziehen, wo es Steinkohle gab, mit der sie nicht nur ihre Maschinen betreiben, sondern auch ihr Roheisen im Hochofen und ihr schmiedbares Eisen gewinnen konnten. Die Grundlagen für eine großzügige Eisenindustrie waren hiermit zum ersten Male gegeben. Kein Land konnte hiervon einen besseren Gebrauch machen als England, das zu jener Zeit politisch und wirtschaftlich gekräftigt dastand, dessen Eisenerzlager und Steinkohlenflöze selten glücklich vereint beieinander lagen und dessen Erzeugnisse in vorteilhaftester Weise abgesetzt werden konnten. So kam es, daß England gegenüber dem europäischen Festlande in jener Zeit einen immer größeren Vorsprung im Eisenhüttenwesen gewann und diesen weit bis in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts hinein beibehielt. Es kann daher auch nicht wundernehmen, daß die bedeutendsten Erfindungen auf dem Gebiete des Eisenhüttenwesens im 18. und 19. Jahrhundert gerade von Engländern gemacht wurden.

Waren durch die Erfindung der Dampfmaschine und durch Anwendung der Steinkohle bei der Eisengewinnung schon günstige Grundbedingungen für eine gedeihliche Entwicklung des Eisenhüttenwesens gegeben, so kamen im Laufe des 19. Jahrhunderts noch andere Umstände hinzu, die dem Eisen zu einem glänzenden Siegeszuge über die ganze Erde verhelfen. Zunächst waren es die Fortschritte im Bau von Eisenbahnen, eisernen Schiffen und Eisenkonstruktionen aller Art sowie die ständig zunehmende Anwendung von Arbeits- und Kraftmaschinen in allen Gewerbszweigen, welche der Eisenindustrie neue weite Absatzgebiete verschafften. Sodann war es die metallurgische Wissenschaft, die mit großem Erfolge die durch Chemie und Physik erforschten Naturgesetze auf die Hüttenprozesse anwendete und sie dadurch förderte. Es bildete sich jetzt eine selbständige Lehre vom Eisen heraus, die Eisenhüttenkunde genannt wurde. Endlich kamen auch neue wichtige Erfindungen dem Eisenhüttenwesen sehr zugute. Hierher gehört z. B. der zuerst von dem württembergischen Bergrat Faber im Jahre 1831 mit Erfolg durchgeführte Versuch, die Gichtgase, die man bis dahin achtlos in die Luft entweichen ließ, zur Er-

higung des für den Hochofenbetrieb erforderlichen Gebläsewindes zu verwenden, wodurch der Hochofenprozeß technisch und wirtschaftlich bedeutend vervollkommenet wurde.

Die deutsche Eisenindustrie konnte damals leider aus allen diesen günstigen Entwicklungsbedingungen keine großen Vorteile ziehen. Deutschland war infolge der alten Uneinigkeit seiner Staaten wirtschaftlich unsagbar stark geschwächt. Die Zollgrenzen der Einzelstaaten bildeten ein schier unüberwindbares Hemmnis für eine gedeihliche Entwicklung von Handel und Industrie. Als dann endlich im Jahre 1834 die Zollschranken fielen und der Deutsche Zollverein gegründet wurde, war der Vorsprung, den das englische Eisenhüttenwesen gewonnen hatte, so groß, daß Deutschland gegen den Wettbewerb Englands nicht mehr aufzukommen vermochte. Erst als im Jahre 1848 ein Schutzzoll auf Eisen eingeführt wurde, konnte sich die deutsche Eisenindustrie wenigstens einigermaßen wieder erholen.

So rückte die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts heran. Immer größer wurde der Verbrauch an Eisen. Hatte man durch das Puddelverfahren und die Anwendung des Dampfes bis dahin noch immer den Bedarf an schmiedbarem Eisen glatt decken können, so war es zum mindesten fraglich, ob dies in Zukunft mit denselben Mitteln möglich gewesen wäre. Da erfand im Jahre 1855 der Engländer Bessemer das nach ihm genannte Frischverfahren, das die Grundlage für die neuzeitliche Massenerzeugung schmiedbaren Eisens bildete und die Eisenindustrie der ganzen Erde zu ungeahntem Aufschwung führte. Brauchte man bis dahin 24 Stunden, um in einem Puddelofen etwa 4000 kg schmiedbares Eisen zu erzeugen, so gelang es jetzt, in einer Bessemerbirne dieselbe Menge in 20 Minuten darzustellen. Und jenes Eisen war noch dazu ein schlackenfreies Flußeisen, das bei richtiger Behandlung in vielen Eigenschaften dem Schweißeisen weit überlegen war und außerdem viel billiger herzustellen war als dieses und erst recht als der Tiegelstahl. Es war erklärlich, daß man an dieses Verfahren nun die allergrößten Hoffnungen knüpfte, doch sie gingen zunächst zum Teil nicht in Erfüllung. Vor allem war es unmöglich, in der Bessemerbirne den Phosphor aus dem Eisen zu vertreiben, jenen neben dem Schwefel so gesürchteten Gegner wichtiger Festigkeitseigenschaften des Eisens. Für Länder wie Eng-

land, welche reich an phosphorarmen Erzen sind und daraus ein fast phosphorfreies, für den Bessemerprozeß geeignetes Roheisen erzeugen konnten, hatte das Verfahren wohl großen Wert, aber zu diesen Ländern zählt Deutschland nicht, denn der größte Teil seiner Erze ist phosphorhaltig. Bei uns kam daher das Verfahren nur in ganz geringem Umfange zur Anwendung.

Man wußte bereits damals, daß die Unmöglichkeit der Entphosphorung nur an der sauren Ausfütterung der Birne lag, aber erst im Jahre 1878 gelang es den Engländern Thomas und Gilchrist, ein geeignetes widerstandsfähiges Futter zu erfinden, das die Entfernung des Phosphors gestattete. Selten haben wohl bedeutende Männer ihrem Vaterlande durch ihre Erfindung so geschadet wie jene beiden. Jetzt brauchte Deutschland kein phosphorarmes Bessemerroheisen mehr aus England zu beziehen, sondern es konnte aus dem unerschöpflichen Reichtum seiner phosphorhaltigen Erze sich selbst ein Roheisen herstellen, das sich durch den Thomasprozeß mit großem wirtschaftlichem Erfolge in schmiedbares Eisen umwandeln ließ. Deutschland wurde so auch in der Eisenindustrie unabhängig von England. Im Laufe der Jahre wurden die Thomasbirnen immer größer, jetzt verarbeitet man in einer Birne bis zu 30 000 kg Roheisen in 20—25 Minuten zu schmiedbarem Eisen. — Seit dem Jahre 1865 hat sich auch noch ein anderes Frischverfahren zur Erzeugung von Flußeisen und Flußstahl herausgebildet, das nach seinen Erfindern, den deutschen Gebrüder Siemens und dem Franzosen Martin, als Siemens-Martin-Verfahren bezeichnet wird. Dieses hat gegenüber dem Bessemer- und Thomasverfahren in verschiedener Hinsicht Vorzüge und hat daher neben diesen für die Massenerzeugung schmiedbaren Eisens ständig an Bedeutung gewonnen. Wie einst das Puddelverfahren das alte Frischverfahren zurückgedrängt hatte, so drückten der Thomas- und Siemens-Martin-Prozeß das Puddeln jetzt ganz in den Hintergrund. In den Thomasbirnen und den Siemens-Martin-Öfen erfolgt heute allein die Massenerzeugung des schmiedbaren Eisens. Auch das alte Tiegelverfahren, mit dem man bisher den vorzüglichsten Qualitätsstahl hergestellt hatte, hat in den jüngsten Jahren in den Elektrostahlöfen gefährliche Nebenbuhler erhalten.

Entsprechend dem riesenhaft gestiegenen Bedarf an schmied-

barem Eisen war inzwischen auch die Roheisenerzeugung immer mehr erhöht worden, nicht nur durch Vermehrung der Hochöfen, sondern auch durch ständige Vergrößerung ihres Rauminhalts. Die heutigen Hochöfen sind ohne das sie umgebende Gerüst und die Fördereinrichtungen 20—30 m hoch und haben eine Tageserzeugung von 60 000 bis 500 000 kg Roheisen und darüber. Derartig große Öfen verarbeiten naturgemäß in derselben Zeit unvergleichlich viel mehr Rohstoffe wie die früheren kleinen Öfen. In entsprechender Weise mußten daher die mechanischen Einrichtungen zur Beförderung der Rohstoffe auf den Hütten und zu den Öfen selbst vergrößert und verbessert werden, ebenso wie die Vorrichtungen zur Beförderung der Fertigerzeugnisse. Diese Aufgaben hat die nicht rastende Technik glänzend gelöst. Auch die Verwertung der Gichtgase zum Antrieb von Kraftmaschinen und Hochofengebläsen machte immer größere Fortschritte, gleichzeitig gewann die Elektrizität als Antriebsmittel der verschiedensten Maschinen auf den Hüttenwerken eine ungeahnte Bedeutung. Groß waren auch die Errungenschaften, die auf dem Gebiete der Weiterverarbeitung des Eisens, z. B. in den Preß-, Hammer- und Walzwerken, den Eisen- und Stahlgießereien, gemacht wurden. Eine ständige vervollkommnung erfuhren weiterhin die metallurgischen Verfahren zur Darstellung des Eisens sowohl in technischer als auch wirtschaftlicher Hinsicht, und man lernte immer besser, durch diese Verfahren sowie durch die nachfolgende mechanische und thermische Behandlung die Güte der Enderzeugnisse zu heben. Hierbei unterstützten die Fortschritte der Chemie und physikalischen Chemie, insbesondere der jungen metallographischen Wissenschaft in wertvoller Weise die Hüttenleute.

Nach dem siegreichen Kriege 1870/71 und der Gründung des Deutschen Reichs hatten die deutschen Staaten wieder eine feste Grundlage für eine gedeihliche Entwicklung ihrer Eisenindustrie. Doch noch einmal hatte diese eine schwere Prüfung durchzumachen. Die Anhänger der in England damals sich so glänzend bewährenden Smithschen Freihandelstheorie glaubten, auch für Deutschland die Beseitigung der Schutzzölle ohne Schaden durchzuführen zu können. So wurden 1873 erst der Roheisenzoll, dann 1877 alle übrigen Eisenzölle aufgehoben. Diese Maßnahme verfehlte der deutschen Eisenindustrie, die nach dem Kriege ungesund schnell

emporgeschossen war und dann infolge der unausbleiblichen Rückwirkungen eine schwere Krisis durchmachte, fast den Todesstoß. Gegenüber der alten, wegen vieler wirtschaftlicher Vorteile viel billiger arbeitenden englischen Eisenindustrie drohte die deutsche ohne Schutzzoll fast zu erliegen. Da trat Bismarck als Retter der deutschen Eisenindustrie auf, indem er in Erkenntnis ihrer mißlichen Lage ihr den Schutzzoll wiedergab.

Im letzten Viertel des vorigen Jahrhunderts traten zu den übrigen Weltmächten, die sich durch eine bedeutende Eisenindustrie auszeichneten, die Vereinigten Staaten von Amerika. Sie verdanken ihren in so kurzer Zeit erreichten wirtschaftlichen Aufschwung den ungeheuren Vorräten an Eisenerzen, Kohlen und anderen wertvollen Bodenschätzen, die ihnen fast unberührt in ihrer ganzen Menge zur Verfügung standen, ferner der Einführung sehr hoher Schutzzölle und schließlich dem riesigen Bedarf an Eisen im Lande selbst, besonders durch die ständige schnelle Ausdehnung des Eisenbahnnetzes. Bereits im Jahre 1890 überholte die amerikanische Roheisenerzeugung die englische, um dann fast ohne Ausnahme bis zur Gegenwart einen weiten Vorsprung vor der Eisenerzeugung jedes der übrigen Länder zu behalten.

Seit Einführung des Schutzzolls im Jahre 1879 nahm nun endlich auch die Eisenindustrie des jungen Deutschen Reiches einen ungeahnten Aufschwung. Nach zwei Jahrzehnten jährlich gesteigerter Erzeugung überflügelte Deutschland in zähem Ringen England zuerst im Jahre 1900 in der Stahlgewinnung und dann 1903 auch in der Roheisengewinnung. Ohne den Krieg würde Deutschland jetzt doppelt soviel Roheisen und dreimal soviel Stahl erzeugen wie England; aber auch im Kriege ist die deutsche Erzeugung natürlich bedeutend höher als die englische.

So hat uns denn der kurze Überblick über die Geschichte des Eisens bis zur Gegenwart geführt, die man mit Recht „das eiserne Zeitalter“ genannt hat. Wohin wir in einem zivilisierten Lande blicken, sehen wir Eisen und wiederum Eisen. Welche Mengen des Metalls stecken allein in den Eisenbahnen und ihren Betriebsmitteln, den Schienen und Schwellen, Lokomotiven und Wagen, den Achsen und Rädern und zahllosen anderen Eisenteilen! Wie ungeheuer sind die Eisenmassen, aus denen unsere neuzeitlichen Riesenschiffe aufgebaut sind, aus denen die

Hunderttausende von Arbeits- und Kraftmaschinen und technischen Apparaten aller Gewerbebezüge zusammengesetzt sind! Wie viele Millionen Tonnen Eisen sind in all den Eisenkonstruktionen den eisernen Brücken, Hallen, Türmen und den Vorrichtungen zum Massentransport von Gütern enthalten, in den tausenderlei eisernen Gerätschaften und Werkzeugen, die in allen Gewerben und in jedem Haushalt gebraucht werden. Und welche unendlichen Mengen an Eisen und Stahl das harte Kriegshandwerk täglich verschluckt, das weiß ein jeder, der diesen größten aller Kriege, in dem wir gegenwärtig noch stehen, miterlebt hat. Wir brauchen hier nur an die vielen hunderttausend Granaten zu denken, die täglich von Feind zu Feind hinübergeschleudert werden an die vielen Minen, Handgranaten u. dgl., an die stählernen Geschütze, Minenwerfer, Maschinen- und anderen Gewehre, die Hieb- und Stoßwaffen, die Stahlschilder, Stahlhelme, die ausgedehnten Verhaue von Stacheldraht und all die übrigen Angriffs- und Abwehrmittel. Und nicht nur beim Heere, auch bei der Flotte begegnen wir allenthalben Stahl und Eisen, mag es sich um schwer gepanzerte Großkampfschiffe, um Kreuzer und Torpedoboote oder schließlich um unsere gesürchteten Unterseeboote handeln, die uns die ersehnte ruhmreiche Entscheidung täglich um soviel näher bringen.

Die Vergangenheit hat es gelehrt, und die Zukunft wird es in noch ausgeprägterer Weise zeigen, daß nur solche Staaten auf die Dauer eine wirkliche Weltmachtstellung behaupten können, die über die wichtigsten mineralischen Rohstoffe: Eisenerze und Steinkohlen, in hinreichender Menge verfügen. Ohne genügend Eisenerze und Steinkohlen hätte unser Vaterland trotz der hervorragenden Eigenschaften seines Volkes nie und nimmer so lange Zeit hindurch einer Welt von Feinden siegreich standhalten können. Mancher zur Kriegsführung wichtige Stoff läßt sich künstlich herstellen oder durch einen anderen ersetzen, aber das Eisen nicht. Großen Dank sind wir daher denen schuldig, die im Kriege 1870/71 mit ihrem Schwerte oder durch ihre weise Politik die Abtretung Lothringens an Deutschland durchgesetzt haben. Denn Lothringen ist Deutschlands reichste Eisenerzkammer. Und dennoch reichen alle Eisenerze innerhalb der deutschen Zollgrenzen bei weitem nicht hin, um unseren Eisenbedarf zu decken, so daß wir gezwungen sind,

große Mengen hochwertiger ausländischer Eisenerze einzuführen. Ist diese Abhängigkeit vom Auslande uns im Frieden schon schädlich, weil so ein großer Teil der Einnahmen statt unserem eigenen Volke fremden Staaten zugute kommt, so kann sie im Kriege geradezu zum Verhängnis werden, weil die Erzzufuhr uns ganz oder in großem Umfange abgeschnitten werden kann, wie es gegenwärtig tatsächlich der Fall ist.

Dafür hat uns nun zu unserem Glück unser tapferes Heer einen großen Teil des Eisenerzgebiets in Französisch-Lothringen erkämpft, nämlich die unmittelbar an unserer Westgrenze liegenden Erzbecken von Brien, Nanzig und Longwy, die mit dem deutsch-lothringischen Erzvorkommen eine zusammenhängende Ablagerung bilden. Ohne diese französischen Erze wäre ein Durchhalten für uns in Frage gestellt gewesen. Lassen wir uns das zur ernststen Mahnung dienen und bedenken wir, daß bei weiterer Steigerung unserer Eisenerzförderung in dem bisherigen Maße unsere deutschen Eisenerzvorräte schon in 50 Jahren erschöpft sind! Dadurch würden nicht nur unzählige Menschen im Lande brotlos werden, sondern unsere Feinde würden von neuem über uns herfallen, weil sie wissen, daß wir ohne Eisen unterliegen müssen. Halten wir also fest, was wir mit dem Leben und der Gesundheit vieler Tapferer erworben haben, schon um einem künftigen Kriege vorzubeugen und unserem Volke die Lasten leichter tragen zu helfen, die ihm auch nach siegreich überstandnem Kriege nicht erspart bleiben werden. Dann können unsere Nachkommen nicht den jetzigen verantwortlichen Leitern unserer Politik vorwerfen, daß sie sich aus Schwäche den wahnwitzigen Anschauungen einiger weniger kurzsichtiger Volksvertreter gefügt und dadurch das Volk um die Früchte des Sieges gebracht haben. Dann brauchen unsere Kinder und Kindeskinde dereinst nicht aus Mangel an Eisen vor ihren Neidern zu Kreuze zu kriechen, sondern sie können den Feinden von neuem die Wahrheit der marftigen Worte des alten deutschen Dichters der Freiheitskriege beweisen: „Der Gott, der Eisen wachsen ließ, der wollte keine Knechte.“

Zweites Kapitel.

Statistisches.

Die beiden wichtigsten Rohstoffe für die Eisenerzeugung sind die Eisenerze und die Steinkohlen. Wie die Eisenerzförderung sich in den Eisenerz gewinnenden Ländern vor dem Kriege¹⁾ gestaltete, zeigt die folgende Zusammenstellung. Es förderten im letzten Friedensjahre 1913 an Eisenerzen:

	Abgerundet in t zu je 1000 kg		Abgerundet in t zu je 1000 kg
Ver. Staaten v. Amerika	62975000	Rußland ²⁾	7993000
Deutsches Reich	28607913	Schweden	7479000
Luxemburg	7333372	Österreich-Ungarn	5030000
Frankreich	21500000	Algier	1356000
Großbritannien	16254000	Italien	603000
Spanien	9861000	Griechenland ³⁾	563000

Deutschland steht also unter allen Eisenerz fördernden Ländern in Europa an erster Stelle, auf der ganzen Erde an zweiter Stelle. Der Wert der in Deutschland 1913 geförderten Erze betrug rund 133441000 Mark, je Tonne im Durchschnitt 3,71 Mark. Die Förderung erfolgte in 412 Bergwerken mit rund 48000 Arbeitern.

Von den im Deutschen Reich und in Luxemburg im Jahre 1913 geförderten Eisenerzen stammen aus:

	t	Beteiligung an der Ge- samtförde- rung in %
Deutsch-Lothringen	21135554	58,8
dem übrigen Deutschland	7472359	20,8
Luxemburg	7333372	20,4
	35941285	100,0

Danach wird also in Lothringen fast dreimal und in Lothringen und Luxemburg nahezu viermal soviel Eisenerz gefördert wie im ganzen übrigen Deutschland bzw. innerhalb der deutschen Zollgrenzen. Mögen diese Mengen an geförderten Erzen auch groß

1) Statistische Angaben über die Zeit während des Krieges würden kein zutreffendes Bild geben und sind auch nicht durchführbar. Einen großen Teil der folgenden Zahlen verdanke ich dem Verein deutscher Eisenhüttenleute in Düsseldorf.

2) Förderung im Jahre 1912.

3) Förderung i. J. 1911.

erscheinen, so reichen sie doch bei weitem nicht aus, unseren Riesenbedarf an Eisen zu decken. Abgesehen davon müssen wir aber auch darauf bedacht sein, unseren heimischen Erzvorrat zu schonen. Daher sind wir gezwungen, weitere Eisenerze in bedeutendem Umfange aus dem Auslande einzuführen. Im Jahre 1913 hat Deutschland an Eisenerzen eingeführt aus:

	t		t
Schweden	4563655	Tunis	136412
Spanien	3632058	Griechenland	147148
Frankreich	3810887	Neufundland	121175
Algier	481157	Belgien	127131
Rußland	489382	Österreich-Ungarn	105983
Norwegen	303457	Sonstigen Ländern	105893

Die Einfuhr beläuft sich danach auf 14024318 t.

Zieht man von der Summe der Gesamteinfuhr und der Förderung des deutschen Zollgebiets die Ausfuhr ab, so ergibt sich die Versorgung des Deutschen Reichs einschl. Luxemburgs mit Eisenerzen im Jahre 1913. Die betr. Ziffern enthält Spalte 1 der folgenden Tabelle:

	1. Erzmenge t	2. % der Versorg.	3. Eisen- gehalt in %	4. Gesamt- eiseninhalt t	5. % der Versorg.
Gesamteinfuhr	14024318	29,62	53,13	7450713	41,00
Förderung d. Zollge- biets	35941285	75,90	32,17	11562311	63,63
Vorhandene Menge	49965603	105,52	38,05	19013024	104,63
Ausfuhr	2613158	5,52	32,17	840653	4,63
Versorgung	47352445	100,00	38,38	18172371	100,00

Aus dieser Tabelle, und zwar aus Spalte 3, kann man auch ersehen, daß der Durchschnittseisengehalt der eingeführten Erze beträchtlich höher ist als derjenige der im Inland geförderten, so daß der Gesamteiseninhalt der ersteren (Spalte 4) etwa $\frac{2}{5}$ (Spalte 5) der Versorgung ausmacht. Trotz dieser erheblichen Einfuhr werden wir, wie bereits am Schlusse des ersten Kapitels hervorgehoben war, in spätestens 50 Jahren mit unseren eigenen Erzvorräten am Ende sein. Welche unabsehbar schweren Folgen dieser Umstand für unser ganzes Volk, insbesondere für unsere

Arbeiterschaft haben würde, war im Anschlusse daran unter dem Hinweis erörtert worden, daß es daher nach siegreich beendigtem Kriege eine unserer ersten Friedensbedingungen sein müßte, auf der Abtretung der von unserem Heere zum größten Teil eroberten Eisenerzbecken von Briey, Nanzig und Longwy zu bestehen, deren Erzvorrat bei einem Umfang von 61 000 Hektar auf $2\frac{1}{2}$ bis 3 Milliarden t geschätzt wird. Frankreich kann im Gegensatz zu Deutschland wegen seiner weit geringeren Kohlenvorräte doch nur einen Teil seiner Eisenerze im eigenen Lande verhütten. So gelangten z. B. im Jahre 1913 nur 13 171 200 t in Frankreich selbst zur Verhüttung, während der andere Teil in Höhe von 8 328 000 t ausgeführt wurde, und zwar fast zur Hälfte nach Deutschland (s. oben). Durch Abtretung der eben genannten Erzbecken würde also die französische Eisenindustrie selbst kaum geschädigt werden. Allerdings stammten 90% aller in Frankreich 1913 geförderten Eisenerze aus jenen Erzbecken, aber das Land hat außerdem noch so ungeheure, bisher nicht erschlossene Erzvorräte — sie werden auf mehr als 8 Milliarden t geschätzt —, daß seine Erzversorgung auch ohne die Minette-Erzbecken an unserer Westgrenze auf viel längere Zeiten hinaus gesichert ist wie die unsrige.

Über die Höhe der Steinkohlen- und Braunkohlenförderung sowie der Kofsgewinnung im Jahre 1913 in den Ländern mit den höchsten Erzeugungsziffern gibt folgende Zusammenstellung Aufschluß:

	Steinkohlen t (abgerundet)	Braunkohlen t (abgerundet)	Kofs t (abgerundet)
Ver. Staaten v. Amerika	517 142 000	—	42 002 000
Großbritannien	292 644 000	—	20 971 000
Deutsches Reich	191 511 000	87 475 000	32 178 000
Frankreich	40 129 000	793 000	3 060 000
Rußland (europäisches)	30 745 000	—	3 816 000 ¹⁾
Belgien	22 846 000	—	3 450 000
Österreich-Ungarn	17 762 000	35 663 000	2 712 000
Britisch-Indien	15 735 000	—	—
Kanada	13 617 000	—	1 376 000
Spanien	4 016 000	277 000	595 000
Niederlande	1 873 900	—	—
Italien	—	781 000	498 000
Schweden	364 000	—	—

1) Gewinnung im Jahre 1912.

Deutschland steht also von allen Ländern der Erde hinsichtlich der Höhe der Steinkohlenförderung an dritter, der Koksgewin-
nung an zweiter und der Braunkohlenförderung an erster Stelle.

Im gleichen Jahre hatte die Roheisen- und die Stahleisenerzeu-
gung in den genannten Ländern folgende Ziffern erreicht:

	Roheisen abgerundet in t	Stahleisen abgerundet in t
Vereinigte Staaten von Amerika . . .	31 462 000	32 839 000
Deutsches Reich einschl. Luxemburg . . .	19 312 000	18 959 000
Großbritannien . . .	10 424 000	7 786 000
Frankreich . . .	5 311 000	4 635 000
Rußland . . .	4 557 000	4 837 000
Belgien . . .	2 485 000	2 467 000
Österreich-Ungarn . . .	2 381 000	2 626 000
Kanada . . .	1 031 000	1 059 000
Schweden . . .	730 000	591 000
Italien . . .	427 000	933 000
Spanien . . .	425 000	242 000

Welche ungeheure Steigerung die Roheisengewinnung in den
letzten Jahrzehnten in den drei wichtigsten Eisen erzeugenden
Ländern erfahren hat, insbesondere in Deutschland und den Ver-
einigten Staaten, beweisen die folgenden Zahlen:

Jahr	Deutsches Reich einschl. Luxemburg t	Vereinigte Staaten von Amerika t	Großbritannien t
1880	2 729 038	3 897 340	7 875 545
1885	3 687 433	4 110 600	7 368 842
1890	4 658 450	9 353 020	8 033 052
1895	5 464 501	9 597 449	8 022 006
1900	8 520 541	14 009 870	9 003 046
1905	10 987 623	23 360 258	9 746 221
1910	14 793 325	27 636 617	10 380 723
1913	19 311 670	31 461 762	10 424 480

Den größten Anteil an der Roheisenerzeugung in Deutschland
hatte 1913 Rheinland-Westfalen (ohne Saarbezirk und Sieger-
land) mit etwa 42,5%, den zweitgrößten Lothringen und Luxem-
burg mit zusammen 33,3%. Dann folgte in weitem Abstände das
Saargebiet mit rund 7%. Gleiche Anteile hatten Schlesien mit
5,2%, Mittel- und Ostdeutschland mit 5,2%, Siegerland, Lahn-

bezirk und Hessen-Nassau zusammen mit 5,2%. Endlich folgten Bayern, Württemberg und Thüringen zusammen mit nur 1,6%.

Von den in Deutschland und Luxemburg zusammen gewonnenen 19,3 Mill. t Roheisen entfielen 16 763 809 t auf Deutschland allein. Hiervon ist nur die geringe Menge von 6834 t Holzkohlenroheisen, alles übrige aber Koksroheisen. Der Anteil der einzelnen Roheisenforten an der Gesamterzeugung und deren Wert ergibt sich aus der folgenden Übersicht:

	Mengen t	Wert abge- rundet in Mill. Mark
Thomasroheisen	9867644	579,9
Bessemerroheisen	375348	27,3
Stahl Eisen, Spiegeleisen, Eisen- mangan, Siliziumeisen	2550698	209,0
Puddelroheisen ohne Spiegel- eisen	463910	29,5
Gießereiroheisen	3374802	230,8
Gußwaren I. Schmelzung	104509	10,2
Bruch- und Wascheisen	26898	1,2
Insgesamt	16 763 809	1087,9

Danach wurde also 1913 in Deutschland annähernd viermal soviel Roheisen zur Umwandlung in schmiedbares Eisen wie zum Umschmelzen in Gußeisen erzeugt. Bei der Erzeugung der

oben genannten Roheisenmengen wurden gleichzeitig 1876334 t verwertbare Schlacken im Gesamtwerte von rund 1,8 Mill. Mark gewonnen.

Die 16,7 Mill. t Roheisen wurden in 93 Betrieben mit durchschnittlich 313 (von 330 am Jahresende vorhandenen) Hochofen gewonnen, deren Gesamtbetriebsdauer 15 300 Wochen betragen hat. Beschäftigt waren in diesen Betrieben 41 908 berufsgenossenschaftlich versicherte Personen. An Rohstoffen wurden zur Erzeugung der aufgeführten Roheisenmengen verbraucht:

Eisenerze und Eisenmanganerze	37 833 604
Manganerze (mit mehr als 30% Mangan)	700 832
Kiesabbrände und Rückstände der chemischen Industrie	1 523 871
Schlacken und Sinter aller Art	3 896 333
Bruch Eisen	208 133
Zuschläge (Kalkstein, Phosphatkalk, Dolomit)	3 434 740
Koks	19 114 748
Holz Kohlen	8 934

Über die Erzeugung des schmiedbaren Eisens in Deutschland (ohne Luxemburg) im Jahre 1913 enthalten die folgenden Zeilen die wichtigsten statistischen Angaben.

Die Erzeugung an Schweißeisen, und zwar Puddeleisen und Puddelstahl, Luppen, Rohschienen, Raffinier- und Zementstahl, belief sich auf insgesamt 213 149 t im Gesamtwerte von 22 548 000 Mark und an verwertbaren Schlacken auf 48 409 t im Werte von 792 000 Mark. Die aufgeführten Mengen von Schweißeisen und Schlacken wurden in 276 Puddelöfen, 42 Schweißöfen bzw. 8 Zementieröfen, Raffinierstahl- und Schmiedefeuern erzeugt, die sich auf 31 Betriebe mit rund 2700 berufsgenossenschaftlich versicherten Personen verteilten. An Rohstoffen wurden in diesen Betrieben verbraucht: 222 680 t Roheisen, 19 172 t Schrott und 6025 t Zuschläge wie Eisenerze u. dgl.

Die Flußeisenerzeugung im Deutschen Reiche ohne Luxemburg betrug im gleichen Jahre 16 942 808 t Rohblöcke (Flußeisen und Flußstahl) im Werte von 1 486 401 000 Mark. Sie verteilte sich auf 106 Betriebe mit 42 118 berufsgenossenschaftlich versicherten Personen. Der Anteil der einzelnen Betriebseinrichtungen an der Gesamterzeugung und der Wert der in diesen hergestellten Rohblöcke geht aus der nachstehenden Zusammenstellung hervor:

Zahl der am Jahreschluss vorhandenen Betriebseinrichtungen	Bezeichnung der Betriebseinrichtungen	Erzeugte Menge an Rohblöcken	Wert in 1000 Mark
109	Thomasbirnen	9 225 953	751 138
13	Bessemerbirnen	146 831	15 333
382	Martinöfen (basisch).	7 124 004	638 989
50	Martinöfen (sauer)	293 920	28 819
116	Tiegelöfen	79 702	34 131
27	Elektrostahlöfen	72 398	17 971

Daneben wurden in den Flußeisenwerken 204 552 t Stahlformfuß im Werte von 65 680 000 Mark erzeugt, ferner 2 279 882 t Schlacken, die zur Vermahlung zu Thomasmehl bestimmt waren, im Werte von 46 560 000 Mark und 1 002 023 t Schlacken anderer Art im Werte von 5 060 000 Mark.

Zu der gesamten Erzeugung der aufgeführten Mengen an Roh-

blöcken, Stahlformguß und Schlacken verbrauchten die Flußeisenwerke folgende Rohstoffe:

Roheisen	t	13 327 205	Eisenerze	t	297 001
Schrott		5 578 922	Zuschläge (Kalkstein usw.)		1 776 822

Von den Leistungen der deutschen Walzwerke und der mit ihnen verbundenen Schmiede- und Presswerke im Jahre 1913 gibt folgende Zusammenstellung ein Bild. Es wurden erzeugt:

	Menge in t	Wert in 1000 Mark
Zum Absatz bestimmte Halbfabrikate (vorgewalzte Blöcke, Knüppel, Platinen u. dgl.)	2 938 023	269 872
Fertigerzeugnisse, wie Eisenbahnoberbaumaterial, Träger, Stabeisen und sonstiges Formeisen, Bandeisen, Walzdraht, Grobbleche, Feinbleche, Röhren, rollendes Eisenbahnmateriale, Schmiedestücke, Weißblech usw.	13 142 847	1 907 835
Abfallerzeugnisse (Abfallenden, Schlacken usw.)	3 380 701	170 256
Insgesamt	19 461 571	2 347 963

Die genannten Erzeugnisse wurden in 174 Betrieben hergestellt, die 128 785 berufsgenossenschaftlich versicherte Personen beschäftigten. Zur Herstellung wurden verbraucht:

Rohblöcke	t	16 264 217
Flußeisenhalbfabrikate		3 050 957
Schweißeisenhalbfabrikate		183 345
Abfallerzeugnisse		85 978

In den Eisen- und Stahlgießereien Deutschlands belief sich im Jahre 1913 die Erzeugung an Eisen- und Stahlguß wie z. B. Maschinenguß, Hartguß, Röhrenguß, Bauguß, Geschirrguß, Ofenguß, Temperguß usw. auf insgesamt 3 344 215 t im Werte von 692 578 000 Mark. Die Erzeugnisse wurden hergestellt in 1574 Betrieben mit 154 300 berufsgenossenschaftlich versicherten Personen. In den Betrieben waren am Jahreschlusse an Betriebsvorrichtungen vorhanden: 2979 Kupolöfen, 110 Flammöfen, 102 Martinöfen, 659 Temperöfen, 1402 Tiegelöfen, 3 Elektrostahlöfen, 60 Kleinbesserbirnen. In diesen wurden an Rohstoffen insgesamt verarbeitet: 2 755 876 t Roheisen und 893 586 t Schrott.

In den im vorhergehenden aufgeführten fünf Betriebszweigen der Eisen- und Stahlindustrie Deutschlands, also in den Hochofen-, Schweißeisen-, Flußeisen- und Walzwerken sowie den Eisen- und Stahlgießereien, wurden im Jahre 1913 im ganzen rund 370 000 berufsgenossenschaftlich versicherte Personen beschäftigt, die 558 800 000 Mark an Löhnen und Gehältern bezogen und rund 700 000 Angehörige ernährten, so daß also von der eigentlichen Großeisenindustrie über eine Million Menschen lebten. Rechnet man hierzu noch die Maschinenfabriken und die Kleineisenindustrie, so erhöht sich die Zahl der in der Eisenindustrie Beschäftigten auf $1\frac{1}{2}$ Millionen (mit mehr als 2 Milliarden Mark Löhnen) und einschließlich der Angehörigen auf $4\frac{1}{2}$ Millionen Menschen, d. h. jeder fünfzehnte Einwohner Deutschlands konnte durch seine oder seiner Angehörigen Tätigkeit in der Eisenindustrie sein Leben fristen.

Drittes Kapitel.

Das reine Eisenmetall und die Eisenkohlenstofflegierungen.

Grundstoffe. Alle uns umgebenden Stoffe, sowohl die in der Natur vorkommenden als auch die vom Menschen hergestellten, bestehen aus Grundstoffen (chemischen Elementen), die sich gegenwärtig durch keinerlei Mittel weiter in andere Stoffe zerlegen lassen. Die Grundstoffe oder chemischen Elemente teilt man seit langem in die beiden, übrigens nicht ganz scharf voneinander trennbaren Gruppen: Metalle und Nichtmetalle, denen man neuerdings noch eine dritte Gruppe, die der sog. Edelgase, angegliedert hat. Von Metallen seien hier als bekanntere Beispiele genannt: Kalium, Natrium, Kalzium, Magnesium, Zink, Kupfer, Silber, Quecksilber, Aluminium, Zinn, Blei, Wismut, Vanadium, Chrom, Molybdän, Wolfram, Eisen, Mangan, Kobalt, Nickel, Gold, Platin. Von Nichtmetallen seien herausgegriffen: Wasserstoff, Chlor, Brom, Jod, Sauerstoff, Schwefel, Stickstoff, Phosphor, Arsen, Antimon, Kohlenstoff, Silizium. Edelgase (verbindungsunfähig) sind Helium, Argon u. a. Die Metalle zeichnen sich im festen, zusammenhängenden Zustand, besonders wenn sie poliert sind, infolge ihres starken Aufnahme- (Absorptions-) und

Rückstrahlungs- (Reflexions-) Vermögens gewisser Lichtstrahlen durch ihren Glanz aus. Sie sind ferner gute Leiter der Wärme und Elektrizität; ihre Verbindungen mit Nichtmetallen werden durch den elektrischen Strom stets so zerlegt, daß sich das Metall am negativen, das Nichtmetall am positiven Pol abscheidet. Die Sauerstoffverbindungen der Metalle bilden mit dem Wasser meist Basen. Die Nichtmetalle dagegen sind schlechte Leiter von Wärme und Elektrizität, ihre Sauerstoffverbindungen bilden mit dem Wasser meist Säuren.

Das reine Eisenmetall und seine Eigenschaften. Von allen oben genannten Metallen ist naturgemäß das Eisen für den Eisenhüttenmann das wichtigste. Zwar findet reines Eisenmetall in der Technik aus Gründen, die wir gleich kennen lernen werden, keine Verwendung. Es bildet aber den Hauptbestandteil in allen Sorten des technisch verwerteten Eisens. Das Metall Eisen (chemisches Symbol Fe vom lat. ferrum) hat das Atomgewicht 55,86. Es tritt zwei- und dreiwertig auf. Sein spezifisches Gewicht schwankt zwischen 7,85 und 7,88. Für die Metallurgie von besonderer Bedeutung ist es, daß das Eisen, zumal in geschmolzenem Zustande, die Eigenschaft hat, mit großer Begierde andere Stoffe aus seiner Umgebung in sich aufzulösen, z. B. Kohlenstoff, Silizium, Mangan, Schwefel, Phosphor, Sauerstoff. Das ist schon einer der Gründe, die eine Darstellung reinen Eisenmetalls im großen in der Technik nahezu unmöglich machen. Der Grad der Lösungsfähigkeit des Eisens für die verschiedenen Elemente und Verbindungen ist sehr verschieden und hängt insbesondere von der jeweiligen Temperatur des Metalls ab. Der Erstarrungs- und Schmelzpunkt des reinen Eisens, d. h. also die Temperatur, bei der es während der Abkühlung vom flüssigen in den festen bzw. während der Erhitzung vom festen in den flüssigen Zustand übergeht, liegt bei 1529°. Wie die meisten anorganischen Stoffe kristallisiert auch das Eisen bei der Erstarrung. Hierbei bildet es aber nicht wie viele Mineralien große, deutlich sichtbare und gut ausgebildete Kristalle, sondern ein dichtes Haufwerk unzähliger vieler, nach allen Richtungen hin durcheinander liegender Kriställchen, sog. „Kristalliten“. Diese Art und Weise der Kristallisation ist verständlich, wenn man bedenkt, daß die Kristallbildung innerhalb der flüssigen Schmelze an Hunderttausenden von Punkten (Kristalli-

sationszentren) neben-, unter- und übereinander zu gleicher Zeit erfolgt, so daß ein Kriställchen das andere schon im Keime an seiner Weiterentwicklung zum großen Kristall hindert. Die einzelnen Kristallindividuen lassen sich übrigens sehr gut voneinander unterscheiden, wenn man ein Probestück des erkalteten Metalls schleift, die geschliffene Fläche auf Spiegelglanz poliert, sie mit einem geeigneten Mittel, z. B. verdünnter Salpetersäure, ätzt und dann im auffallenden Lichte unter dem Mikroskop betrachtet. Infolge der verschiedenen Lage der einzelnen Kriställchen zur Schlifffläche werden diese vom Ätzmittel verschieden stark angegriffen, werfen infolgedessen das Licht nicht in gleichem Maße zurück und erscheinen daher teils heller, teils dunkler in verschiedenen Abstufungen.

Das Eisenmetall ist zwar zähe, aber wenig fest und sehr weich, ein weiterer Grund dafür, daß es in reinem Zustande in der Technik im allgemeinen keine Anwendung findet. Die elektrische Leitfähigkeit ist, wenn auch weit geringer als beim Kupfer, immer noch verhältnismäßig gut. Langsam abgekühltes Eisen ist bei gewöhnlichen Temperaturen bis zu mehreren hundert Grad hinauf magnetisierbar, und zwar ist es das magnetischste aller Metalle. Es verliert aber den Magnetismus zum größten Teil wieder schnell, sobald der magnetisierende Einfluß aufhört. Hoch erhitztes oder aus hohen Temperaturen schnell abgekühltes Eisen ist unmagnetisierbar. Schmiedbarkeit, Hämmbarkeit und Schweißbarkeit des reinen Eisens sind ausgezeichnet.

Zusammengesetzte Stoffe. Die meisten Stoffe sind nicht reine chemische Elemente, sondern aus zwei oder mehr Elementen zusammengesetzt. Die zusammengesetzten Stoffe teilt man in zwei große Gruppen ein, nämlich die gleichartigen (homogenen) und die ungleichartigen (inhomogenen). Zur ersten Gruppe zählt man jeden Stoff, der in keinem Punkte, auch nicht in den winzigen Teilchen, die sich auf irgendeine Weise (z. B. bei Beobachtung unter einem sehr scharfen Mikroskop) noch eben erkennen lassen, Verschiedenartigkeiten zeigt. Daher gehören die chemischen Verbindungen und die physikalischen Gemische (echte Lösungen) zu den homogenen Stoffen. Während eine chemische Verbindung aus ihren Elementen stets in einem ganz bestimmten unabänderlichen Mengenverhältnis zusammengesetzt ist, kann das physikalische Ge-

misch (die echte Lösung) die am Aufbau beteiligten Elemente innerhalb der Grenzen der gegenseitigen Mischbarkeit (Löslichkeit) in verschiedenen beliebigen Mengenverhältnissen enthalten. Die physikalischen Gemische sind nicht zu verwechseln mit den mechanischen Gemengen, die zur Gruppe der inhomogenen Stoffe gehören, weil die einzelnen sie aufbauenden Bestandteile verschiedenartig sind und sich daher mit Hilfe eines scharfen Mikroskops, wenn nicht schon mit bloßem Auge oder auf sonstige Weise voneinander unterscheiden lassen (Beispiel: Schießpulver, das aus Kohle, Schwefel und Salpeter besteht). Die physikalischen Gemische oder echten Lösungen können ebenso wie die chemischen Elemente und Verbindungen in gasförmigem, flüssigem und festem Zustande vorkommen. Beispiele für flüssige, physikalische Gemische sind wässrige Salzlösungen, wie die Lösungen von Salmiak (NH_4Cl) in Wasser. Ein Beispiel für eine feste Lösung ist Glas. Ist eine feste Lösung kristallisiert, so nennt man sie auch „Mischkristalle“

Legierungen. Zu den flüssigen echten Lösungen gehören auch die geschmolzenen Legierungen. Mit Legierungen bezeichnet man sowohl Gemische von Metallen untereinander als auch Gemische von Metallen und Nichtmetallen, sofern sie die kennzeichnenden Eigenschaften von Metallen haben, also Metallglanz, gute Leitfähigkeit für Wärme und Elektrizität usw. Danach sind auch alle technisch verwerteten Eisensorten Legierungen, denn diese sind Gemische von Eisen mit Nichtmetallen, wie z. B. Kohlenstoff, Silizium Phosphor, Schwefel, und mit Metallen, z. B. mit Mangan, in besonderen Fällen auch mit Nickel, Chrom, Wolfram u. a.

Legierungen stellt man zu dem Zweck her, einem Metall ganz bestimmte, seinem Verwendungszweck angepasste Eigenschaften zu geben, die es in reinem Zustande nicht aufweist. Jeder Legierungsbestandteil wirkt nämlich auf die verschiedenen Eigenschaften des Metalls mehr oder weniger stark ein, und zwar in den mannigfaltigsten Abstufungen je nach der Höhe des Gehalts. So kann man durch Legieren verschiedener Mengen gewisser Stoffe mit einem Metall z. B. dessen Härte, Festigkeit, Elastizität und Zähigkeit steigern oder vermindern, die Leitfähigkeit für Elektrizität verbessern oder herabsetzen, den Schmelzpunkt erniedrigen oder erhöhen, die Schmiedbarkeit und Schweißbarkeit fördern oder be-

einträchtigen usw. Auch das Eisenmetall erhält seine vielen guten Eigenschaften, die es für zahllose Verwendungszwecke geeignet machen, erst durch Legieren mit anderen Stoffen; reines Eisen hat, wie bereits erwähnt wurde, höchstens für einige wenige Sonderzwecke brauchbare Eigenschaften.

Kristallisation der technischen Eisensorten. Da alle technischen Eisensorten im geschmolzenen Zustande homogene flüssige Lösungen sind, so kristallisieren sie auch bei der Erstarrung in ganz ähnlicher Weise wie die entsprechenden wässerigen Lösungen. Ein Unterschied besteht eigentlich nur insofern, als das Lösungsmittel der ersteren, das Eisenmetall, erst bei sehr hohen Temperaturen flüssig ist, das Lösungsmittel der letzteren, das Wasser, dagegen bei verhältnismäßig niedrigen Temperaturen. Bei der Kristallisation bilden die technischen Eisensorten ebenso wie das reine Metall ein zusammenhängendes dichtes Hauswerk von richtungslos durcheinander liegenden Kristalliten. Während das kristalline Hauswerk beim reinen Metall aber stets homogen ist, da es ja nur aus dem einen Element besteht, sind die technischen Eisensorten in der Regel inhomogene kristalline Gebilde. Denn an der Zusammensetzung der technischen Eisensorten ist eine ganze Reihe von Elementen beteiligt, die zwar im flüssigen Eisen löslich sind, aber nicht oder nur zum Teil im festen, zumal wenn es bis zu gewöhnlichen Tagestemperaturen herab abgekühlt ist. Alle diese im festen abgekühlten Eisen nicht löslichen Elemente kristallisieren ganz oder teilweise während der Erstarrung und weiteren Abkühlung aus dem Metall aus, und zwar theils in Form von chemischen Verbindungen mit dem Metall oder untereinander, theils in elementarer Form. Daher besteht die Mehrzahl der technischen Eisensorten nach vollständiger Abkühlung aus einem inhomogenen Hauswerk von Kristalliten der verschiedensten Art, nämlich festen Lösungen, chemischen Verbindungen und Elementen. Nur in solchen besonderen Fällen, in denen in Folge der chemischen Zusammensetzung oder der Art der thermischen Behandlung (z. B. in Folge sehr schneller Abkühlung) eine Abscheidung der Elemente aus dem Metall gänzlich unterbunden wird, diese also sämtlich in ganzer Menge in fester Lösung mit dem Metall bleiben, ist die betr. Eisenlegierung wie im flüssigen so auch im festen erkalteten Zustande noch ein ganz homogener Stoff.

Kleingefüge. Durch die Beschaffenheit und die Anordnung der einzelnen Kristalliten wird das Kleingefüge, die Mikrostruktur, einer technischen Eisensorte bedingt. Unter der Voraussetzung, daß ein technisches Eisen keine Unregelmäßigkeiten in der Zusammensetzung (Seigerungserscheinungen) aufweist und frei von sonstigen Fehlern (Rissen, Spannungen, Schlackeneinschlüssen, Lunkern, Gasblasen u. dgl.) ist, hängen seine sämtlichen Eigenschaften lediglich von seinem Kleingefüge ab. Daher ist es von außerordentlicher Wichtigkeit, das Kleingefüge, d. h. also die Zusammensetzung, Größe, Form und Anordnung der einzelnen Gefügebestandteile kennenzulernen. Um sich einen Einblick darein zu verschaffen, muß man sich von der betr. Legierung in ähnlicher Weise, wie es oben beim reinen Eisenmetall beschrieben war, einen Schliff herstellen und ihn nach voraufgegangener geeigneter Behandlung im auffallenden Lichte unter dem Mikroskop betrachten. Dabei lassen sich die einzelnen Gefügebestandteile voneinander unterscheiden. Mit der Erforschung des Kleingefüges der Metalle und Legierungen beschäftigt sich die Metallographie. Hauptaufgabe dieser noch sehr jungen Wissenschaft ist es, nicht nur in der oben beschriebenen Weise das fertige Kleingefüge zu untersuchen, sondern auch die ganze Entstehung desselben von der beginnenden Erstarrung an bis zur völligen Erhaltung zu verfolgen. Dies geschieht in der Hauptsache durch eine Untersuchungsmethode, die man thermische Analyse nennt. Der geringe Umfang des vorliegenden Werkes gestattet nicht, auf die Entstehung des Kleingefüges der technischen Eisensorten näher einzugehen, auch das fertige Gefüge kann im folgenden nur in ganz großen Zügen beschrieben werden. Da der Kohlenstoff von allen in den gewöhnlichen technischen Eisensorten enthaltenen Elementen den weitaus größten Einfluß auf das Kleingefüge hat, so genügt es vollkommen, den Gefügebau der reinen Eisenkohlenstofflegierungen kennenzulernen, um daraus denjenigen der technischen Eisensorten ableiten zu können, zumal ein wesentlicher Unterschied im Gefüge der ersteren und letzteren nicht besteht.

Kristallisation und Kleingefüge der Eisenkohlenstofflegierungen. In den geschmolzenen Eisenkohlenstofflegierungen ist der Kohlenstoff vollständig gelöst, aber nicht in elementarer Form, sondern als chemische Verbindung mit dem Eisen, die Eisenkarbid heißt

und die Formel Fe_3C hat. Geschmolzenes Eisen kann kurz vor beendeter Erstarrung nur bis zu 4,2% Kohlenstoff (C) lösen und im festen Zustande unmittelbar nach der Erstarrung sogar nur bis zu 1,7%. Bei weiterer Abkühlung nimmt die Lösungsfähigkeit dann noch mehr ab. Dicht oberhalb 710° vermag das Metall nicht mehr als 0,9% C in Lösung zu halten, um dann bei 710° jegliche Lösungsfähigkeit für Kohlenstoff zu verlieren (normale langsame Abkühlung vorausgesetzt). So erklärt es sich, daß alle Eisenkohlenstofflegierungen mit Kohlenstoffgehalten bis zu 1,7% unmittelbar nach der Erstarrung zwar noch aus fester Lösung (Mischkristallen) von Eisen und Eisenkarbid bestehen, dann aber bei weiterer Abkühlung innerhalb eines Temperaturgebietes, das man mit Umwandlungszone bezeichnet, noch weitere Veränderungen hinsichtlich des Gefüges erfahren. Nach einem allgemeinen Gesetz, welches für alle flüssigen und festen derartigen Lösungen gilt, deren Bestandteile bei höheren Temperaturen noch löslich ineinander sind, bei niedrigeren aber nicht mehr, vollziehen sich diese Umwandlungen in folgender Weise: Die Legierung mit 0,9% C (eutektoider Legierung¹⁾) behält den gesamten Kohlenstoff bis herab zu 710° (Umwandlungstemperatur) unverändert in fester Lösung, um dann bei dieser Temperatur in ein inniges Gemenge (Eutektoid) von Eisen und Eisenkarbid zu zerfallen. Die Legierungen mit weniger als 0,9% C beginnen dagegen schon bei höheren Temperaturen als 710° (jede aber bei einer anderen, die desto tiefer liegt, je höher der Kohlenstoffgehalt ist) reine Eisenkristalle auszuscheiden (Umwandlungszone) und setzen dies so lange fort, bis der Rest der festen Lösung den eutektoiden Gehalt (0,9% C) erreicht hat. Dann zerfällt dieser Rest bei 710° in das Eutektoid Eisen-Eisenkarbid. In entsprechender Weise scheiden die Legierungen mit mehr als 0,9 bis zu 1,7% C innerhalb der Umwandlungszone (beginnend bei einer desto höheren Temperatur, je höher der Kohlenstoffgehalt) Eisenkarbidkristalle aus, und zwar ebenfalls so lange, bis wiederum der Rest der festen Lösung den eutektoiden Gehalt erreicht hat und dann bei 710° in das eutektoider Eisen-Eisenkarbidgemenge zerfällt.

Das eutektoider Gemenge von Eisen und Eisenkarbid erscheint bei

1) Eutektoid zum Unterschied von eutektisch (Legierung mit 4,2% C).

nicht allzu scharfer Vergrößerung im Schliß als einheitlicher Gefügebestandteil, der in der Metallographie wegen seines perlmutterähnlichen Glanzes die Bezeichnung Perlit erhalten hat. Die reinen Eisenkristalle heißen Ferrit, die Eisenkarbidkristalle Zementit oder Karbidkohle. Danach bestehen also die Eisenkohlenstofflegierungen mit weniger als 0,9% C aus Ferrit und Perlit, und diejenigen mit mehr als 0,9 bis zu 1,7% C aus Zementit und Perlit, während die eutektoide Legierung mit 0,9% C nur aus Perlit aufgebaut ist.

Die Kristallisation der Eisenkohlenstofflegierungen bis zu 1,7% C verläuft aber nur dann in der angegebenen Weise, wenn die Abkühlung möglichst langsam vor sich geht, so daß die feste Lösung die erforderliche Zeit hat, innerhalb der Umwandlungszone Ferrit bzw. Zementit abzuscheiden und dann bei der Umwandlungstemperatur (710°) in Perlit zu zerfallen. Läßt man den betr. Legierungen diese Zeit nicht, sondern zwingt man sie durch Eintauchen in kaltes Wasser (Abschrecken), aus den Temperaturen oberhalb der Umwandlungszone sich sehr schnell abzukühlen, so kann man die Ferrit- bzw. Zementitabscheidung, vor allem aber den Zerfall der festen Lösung in Perlit unterbinden. Die betr. Legierungen befinden sich dann in sog. unterkühltem Zustande. Da es nicht möglich ist, das Abschrecken so schnell durchzuführen, daß man eine vollständige Unterkühlung bei den reinen Eisenkohlenstofflegierungen erreicht, so kann man auch die feste Lösung niemals ganz unzersezt bei gewöhnlichen Temperaturen erhalten. Vielmehr ist ein Teil stets schon etwas zerfallen. Daher bestehen die oberhalb der Umwandlungszone abgeschreckten Eisenkohlenstofflegierungen auch nie aus Austenit¹⁾ allein, wie man die homogene feste Lösung von Eisenkarbid in Eisen nennt, sondern zum größten Teil aus Martensit²⁾ oder Härtungskohle, einer schon etwas in Zerfall übergegangenen festen Lösung. Der Martensit ist stets durch sein nadliges oder spießähnliches Aussehen gekennzeichnet, während der Austenit als homogener Bestandteil mit dem reinen Eisenmetall metallographisch Ähnlichkeit hat. Beim Abschrecken aus Temperaturen innerhalb der Umwandlungs-

1) u. 2) So genannt nach den Forschern Roberts Austen bzw. Martens, die sich um die Metallographie große Verdienste erworben haben.

zone ist neben dem Martensit natürlich noch Ferrit bzw. Zementit vorhanden.

Durch nachträgliches „Anlassen“ einer abgeschreckten Eisenkohlenstofflegierung, d. h. durch Erhitzen kann man den Zwangszustand der Unterkühlung nach und nach wieder aufheben, bis der Martensit sich ganz in Perlit (Zementit-Ferrit-Gemisch) umgebildet hat. Während des Anlassens findet bei Temperaturen, die zwischen etwa 200 und 600° liegen, die allmähliche Abspaltung von Zementit und Ferrit aus der festen Lösung statt, und zwar anfänglich in so feiner Verteilung, daß man die genannten Bestandteile auch bei stärkster Vergrößerung einzeln nicht zu unterscheiden vermag. Durch die Art der Anordnung der ganz fein verteilten Ferrit- und Zementitteilchen in der festen Lösung kann man beim Anlassen mehrere metallographisch gekennzeichnete Übergangsgefüge (Anlaßzustände) zwischen dem Austenit bzw. Martensit und dem Perlit unterscheiden. Die wichtigsten bezeichnet man nach bekannten Forschern auf diesem Gebiete mit Troostit, Osmondit und Sorbit.*

Die Eisenkohlenstofflegierungen mit mehr als 1,7% C bestehen, wie nach den früheren Ausführungen über die Lösungsfähigkeit des Eisens für Kohlenstoff erklärlich ist, unterhalb 710° ebenfalls aus Zementit und Perlit. Bei diesen Legierungen kommt aber, wenn sie sehr langsam erstarren, als weiterer Gefügebestandteil noch elementarer Kohlenstoff in Form von Graphit hinzu, weil der Zementit eine große Neigung hat, nach der Gleichung $\text{Fe}_3\text{C} = 3\text{Fe} + \text{C}$ in Eisen und Kohlenstoff zu zerfallen. Auch bei nachträglichem Glühen einer schneller abgekühlten und daher nur Zementit und Perlit enthaltenden Eisenkohlenstofflegierung kann der Zementit in Eisen und Kohlenstoff zerlegt werden. Dann tritt er aber nicht als blättriger Graphit, sondern als sog. Temperkohle in Form von schwarzen Knoten in der betr. Legierung auf.

Die anderen neben dem Kohlenstoff in den technischen Eisensorten enthaltenen Elemente üben zwar, wie schon gesagt, auf die Kristallisation und damit das Gefüge der reinen Eisenkohlenstofflegierungen einen mehr oder weniger großen Einfluß aus, jedoch im allgemeinen nur in der Weise, daß die bereits aufgeführten Gefügebestandteile meist wieder zu erkennen sind. Dies

gilt ganz besonders für die gewöhnlichen technischen Eisensorten, da ja in diesen der Kohlenstoff auch die Hauptrolle spielt.

Neben der chemischen Zusammensetzung hat auch die Form, Größe und Anordnung der Gefügebestandteile einen wesentlichen Einfluß auf die Eigenschaften der technischen Eisensorten. Die metallographischen Forschungen hierüber sind bei weitem noch nicht abgeschlossen und allgemeine Gesetzmäßigkeiten noch nicht festgestellt. Immerhin liegen schon umfangreiche Ergebnisse vor, insbesondere über die Größe der einzelnen Gefügebestandteile (die Korngröße). Es sollen hier nur die schmiedbaren Eisensorten mit Kohlenstoffgehalten unterhalb 1,7% betrachtet werden, weil bei diesen die Korngröße eine besonders große Rolle spielt. Das größte Korn haben die aus Temperaturen weit oberhalb des Schmelzpunktes sehr langsam abgekühlten technischen Eisensorten. Nicht zu hohe Erhitzung über den Schmelzpunkt hinaus und dann schnellere Abkühlung wirken daher verfeinernd auf das Korn. Weit günstiger beeinflusst in dieser Hinsicht aber alle langsam abgekühlten Sorten schmiedbaren Eisens ein nach der Abkühlung besonders vorgonnenenes sachgemäßes Glühen. Dieses besteht darin, daß man das betr. Material auf Temperaturen erhitzt, die dicht oberhalb der Umwandlungszone liegen. Mit der hierbei erfolgenden Umwandlung des Perlits in die feste Lösung und der Auflösung des Ferrits bzw. Zementits in dieser Lösung ist die Entstehung eines vollständig neuen feinkörnigen Gefüges verbunden, sobald man kurz nach Erreichung der richtigen Glühtemperatur das Material wieder langsam abkühlen läßt. Zu langes Glühen bei richtiger Temperatur oder richtige Glühdauer bei zu hoher Temperatur (weit oberhalb der Umwandlungszone) führen keine Verfeinerung des Kornes, eher sogar eine Vergrößerung herbei. Noch feiner wird das Korn, wenn ein schmiedbares Eisen nach sachgemäßer Glühdauer und aus geeigneter Glühtemperatur abgeschreckt und dann angelassen wird. Eine Kornverfeinerung, die diejenige durch sachgemäßes Glühen allein noch weit übertrifft, erzielt man durch mechanische Behandlung, und zwar durch Warmbehandlung oberhalb der Umwandlungszone (Walzen, Schmieden, Pressen bei Rotglut) und in noch höherem Grade durch Kaltbearbeitung (Kaltwalzen, Kaltziehen bei gewöhnlichen Temperaturen). Das überhaupt feinste

Korn wird durch eine Vereinigung von sachgemäßer Warmbearbeitung oberhalb der Umwandlungszone mit darauf folgendem Abschrecken und Anlassen oder anschließendem Kaltbearbeiten erzielt.

Auf die Form und Anordnung der einzelnen Kleingefügebestandteile kann hier nicht näher eingegangen werden, jedenfalls erfahren sie durch die chemische Zusammensetzung sowie die Art der mechanischen und thermischen Behandlung die mannigfaltigsten Veränderungen. So findet man z. B. in geglühten schmiedbaren Eisensorten den Ferrit und Perlit bzw. den Zementit und Perlit oft in Körnern gleichmäßig durch das ganze Material verteilt (Kornstruktur). In anderen Fällen legen sich Ferrit oder Zementit netzförmig um die einzelnen Perlitkörner herum (Netzstruktur), oder aber die Anordnung dieser Gefügebestandteile ähnelt dem Gefüge in den Meteoriten (Widmannstättensche Struktur). Oft beobachtet man auch die sog. Zeilenstruktur, bei der die Gefügebestandteile durch die Einwirkung der mechanischen Behandlung in der Streckrichtung in parallelen Reihen angeordnet sind.

Viertes Kapitel.

Die Eigenschaften des technisch verwerteten Eisens.

Kein anderer metallischer Stoff wird auch nur in annähernd so großer Menge von den Menschen verbraucht wie das Eisen, weil es nächst dem Aluminium das verbreitetste Metall der Erde ist, verhältnismäßig einfach und billig durch berg- und hüttenmännische Arbeit gewonnen werden und so viele vorzügliche Eigenschaften erhalten kann, daß es zur Herstellung einer schier endlosen Reihe von Gegenständen zu verwenden ist, und zwar häufig gerade von solchen, die nicht nur in ungeheuren Mengen gebraucht werden, sondern auch große Einzelgewichte haben, wie Schienen, Träger u. dgl.

Die verschiedenen Eigenschaften mit ihren unzähligen Abstufungen gibt man dem Eisen, wie bereits aus dem dritten Kapitel hervorgeht, einmal dadurch, daß man es mit verschiedenen Elementen in mehr oder weniger großer Menge legiert, und weiterhin dadurch, daß man die betr. Legierungen oft noch einer mechanischen Behandlung durch Schmieden, Pressen, Walzen, Ziehen

usw. unterwirft sowie einer thermischen Behandlung durch mehr oder weniger schnelles Abkühlen, Erhitzen auf gewisse Temperaturen bestimmte Zeiten hindurch u. dgl. Jedes in der Technik verwendete Eisenmaterial von einer ganz bestimmten chemischen Zusammensetzung kann also durch die Art der mechanischen und thermischen Behandlung noch sehr weitgehende Veränderungen erfahren. Die Eigenschaften eines jeden Eisenmaterials hängen, wie schon im dritten Kapitel ausgeführt worden war, im wesentlichen lediglich vom Kleingefüge ab, also von der Zusammensetzung, Form, Größe und Anordnung der einzelnen Gefügebestandteile. Allerdings sind auch andere Faktoren auf die Eigenschaften von Einfluß, wie Seigerungen, Risse, Spannungen, Schlackeneinschlüsse, Gasblasen, Lunker u. a., die als Materialfehler anzusehen, daher zu vermeiden oder wenigstens auf ein Mindestmaß zu beschränken sind. Die chemische Zusammensetzung der verschiedenen technischen Eisensorten wird einmal durch solche Elemente bedingt, die fast stets bei der Darstellung (teilweise unbeabsichtigt) aus den verwendeten Rohstoffen oder der Umgebung hineingelangen und daher auch nahezu in allen Fällen darin enthalten sind, wie Kohlenstoff, Silizium, Mangan, Phosphor, Schwefel u. a., dann durch solche Elemente, die in Einzelfällen gewissen technischen Eisensorten zugesetzt werden, wie Nickel, Chrom, Wolfram, Vanadin, Molybdän.

Im folgenden sollen nun zunächst die für die Verwendung des technischen Eisens wichtigsten Eigenschaften (Gewerbseigenschaften) kurz beschrieben werden und im Anschluß daran diejenigen, welche für die Darstellung und Verarbeitung des Eisens von Bedeutung sind (technologische oder Arbeitseigenschaften), und zwar beide Arten Eigenschaften unter gleichzeitiger Aufzählung der Einflüsse, welche die verschiedenen Elemente sowie die mechanische und thermische Behandlung auf sie ausüben.

Festigkeitseigenschaften (Festigkeit, Elastizität, Zähigkeit). Mit Festigkeit (Bruchfestigkeit) bezeichnet man den inneren Widerstand, den ein Stoff der Trennung in einzelne Teile durch äußere Kräfte entgegengesetzt. Je nach der Art der Beanspruchung durch äußere Kräfte unterscheiden wir zwischen Zug-, Druck-, Biege-, Drehungs-, Scherfestigkeit u. a. In den meisten Fällen wird lediglich die Zug- (Zerreiß-) Festigkeit eines Materials gemessen, und

zwar wird sie ausgedrückt durch das Gewicht, mit dem das Material auf 1 qmm Querschnitt bis zum Bruch belastet werden kann. Elastizität ist derjenige innere Widerstand, den ein Stoff einer bleibenden Formänderung entgegensetzt. Da die Elastizitätsgrenze in vielen Fällen schwierig festzustellen ist, begnügt man sich meist mit der Kenntnis der Fließ- oder Streckgrenze, die etwas oberhalb der Elastizitätsgrenze liegt und angibt, wann eine bleibende Formänderung bei gleichbleibender äußerer Belastung eintritt. Mit Zähigkeit bezeichnet man die Eigenschaft eines Stoffes, starke bleibende Formänderungen zu ertragen, ohne zu zerreißen. Je weiter also Elastizitäts- und Bruchgrenze auseinander liegen, desto zäher ist der Stoff. Das Gegenteil der Zähigkeit ist Sprödigkeit. Ein spröder Stoff bricht leicht schon bei schwachen vorübergehenden mechanischen Einwirkungen, wie Schlägen, Stößen, Erschütterungen, kann aber bei ruhiger Belastung unter Umständen hohe Festigkeitsgrade haben.

Bei den technischen Eisensorten ist im allgemeinen mit großer Festigkeit geringe Zähigkeit verbunden. Nur bei gewissen hervorragenden Sonderstählen sind beide Eigenschaften gleichmäßig im hohen Grade vertreten. Bei den gewöhnlichen Eisensorten hat den bedeutendsten Einfluß auf die Zugfestigkeit der Kohlenstoff. Während reines Eisen eine Zugfestigkeit von nur etwa 30 kg auf 1 qmm Querschnitt hat, nimmt diese bei gleichzeitig abnehmender Zähigkeit mit steigendem Kohlenstoffgehalt zu, um bei einem Stahl mit 1% C den Höchstwert von rund 80 kg zu erreichen. Bei noch höheren Gehalten an diesem Element sinkt die Festigkeit wieder schnell. Gewöhnliche Roheisensorten haben meist nur noch Festigkeitswerte von weit weniger als 30 kg. Im grauen Roheisen trägt besonders der zwischen den eisenhaltigen Bestandteilen abgesetzene mürbe Graphit sehr zur Verminderung der Festigkeit bei, zumal wenn er sehr grobkristallinisch ist. Silizium und Mangan wirken im schmiedbaren Eisen in geringeren Mengen ähnlich wie Kohlenstoff auf die Festigkeitseigenschaften ein, nur in schwächerem Maße. Sehr hohe Festigkeit rufen besonders die Elemente Nickel und Chrom einzeln und zusammen im kohlenstoffhaltigen Eisen hervor, und zwar unter gleichzeitig günstigster Beeinflussung der Zähigkeit. Nickelchromstähle finden daher u. a. Anwendung im Automobil- und Flugzeugbau, wo es auf

hochbeanspruchte Teile mit geringem Querschnitt antommt. Sehr ungünstig wirkt Phosphor auf das Eisen ein; er macht es kaltbrüchig, d. h. er vermindert die Zähigkeit so, daß es im erkalteten Zustande leicht bricht.

Auf den nachteiligen Einfluß, den Seigerungen, Schlackeneinschlüsse, Lunker, Gasblasen (vgl. S. 38 ff.) und Spannungszustände, welche letztere hauptsächlich infolge ungleichmäßiger Abkühlung entstehen, auf die Festigkeitseigenschaften des technisch verwerteten Eisens haben, war bereits hingewiesen worden. Von sehr großer Bedeutung für die Festigkeitseigenschaften ist die mechanische und thermische (Wärme-) Behandlung des Eisens. Hierdurch werden nicht nur verschiedene der eben genannten Materialfehler der technischen Eisensorten teilweise beseitigt, sondern bei sachgemäßer Durchführung der betr. Verfahren wird auch das Kleingefüge in einer die Festigkeitseigenschaften günstig beeinflussenden Weise verändert. So kann z. B. das Korn in weitgehendem Maße verfeinert werden. Kornverfeinerung ist aber gleichbedeutend mit Steigerung der Festigkeit, bis zu einer gewissen Grenze auch der Zähigkeit. Daher wirkt Warmbearbeitung bei Rotglut günstig auf Festigkeit und Zähigkeit, Kaltbearbeitung besonders auf Festigkeit. Über die Wärmebehandlung des gewöhnlichen schmiedbaren Eisens läßt sich ganz allgemein sagen, daß es im Urzustand, in dem es sich nach dem Gießen und darauf folgendem langsamem Abkühlen befindet, wegen des groben Kornes geringe Festigkeit bei geringer Dehnung aufweist, nach sachgemäßem Abschrecken dagegen bei feinem Korn hohe Festigkeit und geringe Dehnung und nach dem Anlassen endlich mittlere Festigkeit und große Dehnung zeigt. Ein schmiedbares Eisen (Stahl) von geeigneter chemischer Zusammensetzung ist jedenfalls nach richtiger mechanischer und thermischer Behandlung der festeste aller uns bekannten natürlichen und künstlichen Stoffe.

Härte. Die Härte ist der Widerstand, den ein Stoff dem Eindringen eines Körpers in seine Oberfläche entgegensetzt. In den gewöhnlichen technischen Eisensorten übertrifft der Kohlenstoff die übrigen, ebenfalls nur in geringer Menge vorhandenen Elemente in der härtesteigernden Wirkung. Daher soll im folgenden nur von den Gefügebestandteilen des Eisens und Kohlenstoffs die Rede sein. Die Härte ist desto größer, je mehr harte Gefügebe-

standteile vorhanden sind und je feiner diese im Material verteilt sind. Der härteste Gefügebestandteil in den gewöhnlichen technischen Eisensorten ist der Zementit (Eisenkarbid Fe_3C), dann folgen Martensit und Austenit (feste Lösungen von Eisenkarbid in Eisen), die desto härter sind je höher ihr Kohlenstoffgehalt ist, dann die Anlaßzustände Troostit, Osmondit, Sorbit; noch weniger hart sind Perlit (eutektisches Gemenge von Eisen und Eisenkarbid) und Ferrit (reines Eisen). Am weichsten sind Graphit und Temperkohle. Danach muß also die Härte in den gewöhnlichen langsam abgekühlten technischen Eisensorten mit zunehmendem Kohlenstoffgehalt zunächst zunehmen, weil ja nach dem dritten Kapitel in den Eisenkohlenstofflegierungen mit weniger als 0,9% C der Perlit gegenüber dem Ferrit zunimmt, in denen mit mehr als 0,9% der Zementit gegenüber dem Perlit. Bei den höher gekohlten Sorten nimmt dann die Härte allerdings wieder ab, weil sich zum Perlit und Zementit noch der weiche Graphit gesellt. Weit größer muß natürlich die Härte in den abgeschreckten Sorten sein, weil diese aus Martensit oder Martensit und Zementit, also zwei sehr harten Gefügeelementen bestehen. Auch bei den kohlenstoffreicheren Sorten müssen die schneller abgekühlten härter sein als die langsam abgekühlten; denn erstere sind nur aus Perlit und dem harten Zementit aufgebaut, letztere enthalten daneben aber, wie schon gesagt, den weichen Graphit. Aus dem gleichen Grunde wirkt auch ein höherer Mangan-gehalt in den kohlenstoffreicheren technischen Eisensorten härte-
steigernd, ein höherer Siliziumgehalt dagegen umgekehrt, weil das Mangan den Zerfall des harten Zementits in Ferrit und Graphit verhindert, das Silizium ihn aber fördert. Die gewöhnlichen abgeschreckten Kohlenstoffstähle werden in ihrer Härte noch weit übertroffen von solchen Stählen, die mit bestimmten Gehalten an Mangan, Nickel, Chrom, Wolfram u. a. legiert sind. Derartige Stähle sind in vielen Fällen schon von Natur, ohne daß sie abgeschreckt worden sind, härter als die abgeschreckten Kohlenstoffstähle; ihre Härte wird daher als Naturhärte bezeichnet im Gegensatz zu der durch Abschrecken erzielten Härtungshärte.

Elektrische Leitfähigkeit. Reines Eisenmetall leitet den elektrischen Strom noch verhältnismäßig gut; mit zunehmendem Gehalt an Kohlenstoff und anderen Elementen nimmt die Leit-

fähigkeit jedoch mehr und mehr ab, d. h. der Leitungswiderstand wird größer. Merkwürdigerweise wird dieser Widerstand durch Kohlenstoff in Form der festen Lösung (Austenit, Martensit) viel stärker beeinflusst als durch Kohlenstoff, der in Form von Karbid oder Graphit (in nicht übermäßig großer Menge) vorhanden ist.

Magnetische Eigenschaften. Die Magnetisierbarkeit des reinen Eisens, das der magnetischste aller uns bekannten Stoffe ist, nimmt mit steigendem Gehalt an Kohlenstoff und anderen Elementen ab, während seine Fähigkeit, den einmal erteilten Magnetismus festzuhalten, hierbei zunimmt. Die Technik macht sich dies in der Weise zunutze, daß sie einerseits für Dynamoanker und Transformatoren reines Eisen oder zur Vermeidung von Magnetisierungsverlusten besser noch kohlenstoffarmes, siliziumreiches Schmiedeeisen verwendet, welches den Magnetismus so leicht wie möglich annimmt, ihn aber bei Aufhören der magnetisierenden Wirkung auch so schnell und leicht wie möglich wieder verliert, daß sie andererseits für Dauer- (permanente) Magnete kohlenstoffreichen Stahl (mit etwa 1% C) benutzt, der den ihm einmal erteilten Magnetismus dauernd möglichst unverändert beibehält.

Säurebeständigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen Rost. Die Löslichkeit des Eisens in verdünnter Schwefelsäure nimmt mit wachsendem Kohlenstoffgehalt, also mit Zunahme des harten schwerlöslichen Eisenkarbides ab, jedoch ist Form, Größe und Anordnung der einzelnen Gefügebestandteile hierbei von wesentlichem Einfluß. Gegen Einwirkung verdünnter Salpetersäure hat sich eine Legierung des Eisens mit hohen Gehalten an Chrom und Nickel als besonders geeignet erwiesen, gegen Angriff konzentrierter Salpetersäure ist ein hochprozentiger Siliziumeisenenguß am widerstandsfähigsten. Das Rosten (die Korrosion) des Eisens, das vorwiegend durch wasserhaltige Luft (Sauerstoff) oder lufthaltiges Wasser hervorgerufen wird, wird durch Zunahme eines Gehalts an Kohlenstoff und anderen Elementen nur unwesentlich beeinflusst. Nur ein hoher Nickelgehalt wirkt einigermaßen rostschützend. Der beste Rostschutz bleibt jedenfalls der Anstrich mit einer geeigneten Farbe oder der Überzug mit einem Metall usw.

Schmelzbarkeit. Der Schmelz- und Erstarrungspunkt des reinen Eisenmetalls, der bei 1529° liegt, wird bis zu einem gewissen Höchstgehalt durch steigenden Zusatz an Kohlenstoff in immer

tieferen Temperaturen heruntergedrückt. Gleichzeitig beeinflusst der Kohlenstoff das Metall auch in der Weise, daß die Erstarrung und Schmelzung der Eisenkohlenstofflegierungen ebenso wie bei allen anderen derartigen Lösungen nicht bei einem bestimmten Temperaturpunkt, sondern in einer ganzen Temperaturzone vor sich geht. So beginnt z. B. eine Eisenkohlenstofflegierung mit 1% C bei etwa 1440° zu erstarren, beendet ihre Erstarrung aber erst bei 1170° , und umgekehrt bei der Erhitzung tritt der Beginn der Schmelzung bei 1170° ein, während der letzte Rest erst bei 1440° geschmolzen ist. Eine Legierung mit 2% C erstarrt (bzw. schmilzt) erst zwischen 1350° und 1130° , eine solche mit 3% C sogar erst zwischen 1260° und 1130° . Am tiefsten liegt der Erstarrungs- und Schmelzpunkt der Legierung mit 4,2% C, nämlich bei 1130° . Diese ist merkwürdigerweise die einzige Eisenkohlenstofflegierung, die ebenso wie das reine Eisenmetall bei einem ganz bestimmten Temperaturpunkt, nicht in einer Zone erstarren bzw. schmilzt. Da sie am längsten von allen Eisenkohlenstofflegierungen flüssig bleibt bzw. zuerst von allen schmilzt, so nennt man sie eine eutektische (gut flüssige) Legierung. Bei den Legierungen mit mehr als 4,2% C steigen die Punkte der beginnenden Erstarrung bzw. der beendigten Schmelzung mit zunehmendem Kohlenstoffgehalt wieder schnell höher.

Die Erstarrungs- und Schmelzpunkte der gewöhnlichen technischen Eisensorten liegen denen der reinen Eisenkohlenstofflegierungen nahe, da die übrigen darin enthaltenen Elemente auf die Erstarrungs- und Schmelztemperaturen einen weit geringeren Einfluß haben wie der Kohlenstoff. Dementsprechend haben auch die Eisensorten mit geringeren Kohlenstoffgehalten — schmiedbare Eisensorten — viel höher liegende Schmelzpunkte, sind also viel schwerer schmelzbar wie diejenigen mit höherem Kohlenstoffgehalt, also die Roheisensorten. Bei ersteren liegen die Schmelzpunkte zwischen 1500 und 1300° , bei letzteren zwischen 1250 und 1050° . Deswegen muß auch bei allen in den späteren Kapiteln beschriebenen Darstellungsverfahren des schmiedbaren Eisens aus Roheisen die Heiztemperatur im Laufe des betr. Verfahrens desto höher steigen, je mehr der Gehalt an Kohlenstoff und den übrigen Elementen in dem geschmolzenen Eisen durch Oxydation abnimmt, falls man das Metall überhaupt im

flüssigen Zustande gewinnen will (Flußeisen) und nicht im teigigen, nur halb geschmolzenen (Schweißeisen).

Schwindung, Lunkerung, Gasblasenbildung, Seigerung. Bei der Erstarrung und weiteren Abkühlung zeigen die technischen Eisensorten oft die vorgenannten Eigenschaften, die die weitere Verarbeitung und spätere Verwendung mehr oder weniger stark in ungünstiger Weise beeinflussen. Schwindung nennt man die Eigenschaft des technischen Eisens, sich bei der Abkühlung aus dem flüssigen Zustande stark zusammenzuziehen, nachdem es sich während und kurz nach der Erstarrung noch etwas ausgedehnt hatte. Infolge der Schwindung sind also die Abmessungen eines gegossenen Gegenstandes nach der völligen Abkühlung geringer als diejenigen des Hohlraumes der Form, den das flüssige Metall zuerst vollständig ausgefüllt hatte. Aus diesem Grunde muß man den Formen stets um soviel größere Abmessungen geben, als die Schwindung des eingefüllten Materials beträgt. Bei Gußeisen (S. 45) hat man mit einer Schwindung von rund $\frac{1}{100}$, bei Stahlguß sogar mit einer solchen von $\frac{1}{70}$ bis $\frac{1}{50}$ zu rechnen. Die fast doppelt so große Schwindung beim Stahlguß hat besonders im Anfange dem unmittelbaren Gießen von Flußeisen und Flußstahl zu Gebrauchsgegenständen die größten Hindernisse in den Weg gestellt. Beim Gußeisen ist die Schwindung desto geringer, je höher der Graphitgehalt ist. Daher bewirken alle die Graphitabscheidung begünstigenden Umstände, wie hoher Silizium- und geringer Mangangehalt sowie langsame Abkühlung, eine Verringerung der Schwindung. Wichtig ist, daß die Schwindung in einem Gußstück möglichst gleichmäßig an allen Stellen erfolgt, sonst entstehen Spannungen darin, die schon bei der Abkühlung oder später im Gebrauch zum Bruch führen können.

Eine weitere sehr nachteilige Folge des Schwindens ist die Entstehung von Lunkern, d. h. von Hohlräumen in einem Gußstück, die meist an der Stelle sich bilden, an der zuletzt noch flüssiges Metall vorhanden war. In den Lunkern sammeln sich leicht allerlei Ausscheidungen in Form von Oxiden u. dgl. an, so daß sie die Festigkeitseigenschaften auch in solchen Fällen noch ungünstig beeinflussen, in denen sie infolge mechanischer Behandlung des Materials nahezu zusammengedrückt sind. Eine andere Art von Hohlräumen in den technischen Eisensorten sind die Gasblasen, die

dadurch entstehen, daß das geschmolzene Eisen mit Vorliebe größere Mengen verschiedener Gase wie Kohlenoxyd, Wasserstoff, Stickstoff aus der Umgebung in sich auflöst und diese dann bei der Erstarrung infolge seiner mit sinkender Temperatur abnehmenden Lösungsfähigkeit wieder abstößt. Hierbei sammeln sie sich, sobald sie nicht mehr aus der schon erstarrten Masse entweichen können, in Form von Blasen im Material an.

Als letzte der hierher gehörigen unangenehmen Eigenschaften des Eisens bliebe dann noch das Seigern oder die Seigerung zu nennen. Hiermit bezeichnet man einen in einer geschmolzenen oder schon erstarrenden Legierung stattfindenden Entmischungsvorgang, der zur Folge hat, daß eine im geschmolzenen Zustande allenthalben gleichmäßig zusammengesetzte Legierung nach erfolgter Abkühlung an verschiedenen Stellen voneinander abweichende Zusammensetzung aufweist. Die Seigerungen der technischen Eisensorten sind in der Hauptsache auf die eigenartigen Kristallisationsvorgänge bei der Erstarrung zurückzuführen. An den Seigerungen beteiligen sich am stärksten Phosphor und Schwefel, zwei Elemente, die schon bei gleichmäßiger Verteilung im Material dessen Eigenschaften verschlechtern, und natürlich erst recht ungünstig darauf einwirken, wenn sie infolge Seigerung an einer Stelle stark angereichert sind.

Schmiedbarkeit. Mit Schmiedbarkeit bezeichnet man die Eigenschaft gewisser technischer Eisensorten, bei mechanischer Bearbeitung durch Schmieden, Pressen, Walzen und ähnliche, bei höheren Temperaturen stattfindende „Warmredverfahren“ weitgehende Formänderungen zu ertragen. Die gewöhnlichen technischen Eisensorten sind nur bei geringen Kohlenstoffgehalten schmiedbar. Mit zunehmenden Kohlenstoffgehalten nimmt die Schmiedbarkeit ab und hört schließlich ganz auf; schon bei 1,5% C ist ein derartiges Material schwer schmiedbar. Mangan und Silizium üben einen ähnlichen Einfluß auf die Schmiedbarkeit aus wie Kohlenstoff, nur in schwächerem Maße. Außerordentlich ungünstig wirken Schwefel, Sauerstoff (in Form von Eisenoxydul, FeO) und Zinn auf die Schmiedbarkeit ein, die ersteren beiden besonders dann, wenn nur ein geringer Mangangehalt anwesend ist. Sie machen nämlich das Eisen rotbrüchig, d. h. es geht bei der mechanischen Bearbeitung in Rotglut zu Bruch.

Von besonders großer Wichtigkeit für alle „Warmreckverfahren“ ist die Wahl der geeignetsten Temperaturen. Man hat sich hierbei stets vor Augen zu halten, daß die betr. Verfahren stets den Doppelzweck verfolgen, nämlich das Eisen in bestimmte Formen zu bringen und gleichzeitig, besonders durch Veränderung seines Kleingefüges, seine Eigenschaften zu verbessern. Da das Eisen desto plastischer ist, je höher seine Temperatur ist, so läßt sich seine mechanische Bearbeitung bei möglichst hohen Temperaturen auch mit geringerem Kraftaufwand und dementsprechend auch geringeren Kosten durchführen als bei weniger hohen. Daher ist es am vorteilhaftesten, die stärksten Formänderungen bei den zulässig höchsten Schmiedetemperaturen vorzunehmen und dann bei sinkenden Temperaturen die weitere Schmiedearbeit folgen zu lassen, die in erster Linie die Verbesserung des Gefüges (Kornverfeinerung) bezweckt. Am günstigsten ist es nach den Ausführungen im dritten Kapitel, wenn mit Erreichung der Umwandlungszone auch gerade die letzte Schmiedung abgeschlossen wird.

Auch unterhalb der Umwandlungszone können die schmiedbaren Eisensorten noch bearbeitet werden; man spricht dann von „Kaltrecken“ oder „Kaltformgebung“. Durch Kaltreckarbeit, die hauptsächlich bei Bearbeitung sehr dünner Bleche oder Drähte in Frage kommt, erzielt man infolge der Bildung sehr feinkörnigen Gefüges besonders hohe Festigkeitsgrade, allerdings bei gleichzeitiger Erhöhung der Sprödigkeit. Die gefährlichsten Temperaturen für die mechanische Bearbeitung gewöhnlicher schmiedbarer Eisensorten liegen bei etwa 250—350° (sog. Blauhitze). Bei dieser kann die Sprödigkeit derart zunehmen, daß die betr. Stücke schon bei der Bearbeitung zerbrechen (Blaubruch). Unbedingt zu beachten ist, daß die Bearbeitungstemperatur sowohl beim Warm- wie beim Kaltrecken in allen bearbeiteten Teilen gleich ist, sonst treten leicht Spannungen auf, die zur Rißbildung oder gar zum Bruch führen.

Schweißbarkeit. Zwei Stücke schmiedbaren Eisens können im hocherhitzten plastischen Zustande (in der Weißglut) unter Einwirkung äußeren mechanischen Druckes derart fest miteinander vereinigt werden, daß die zusammenhaltende Kraft an der Stelle ihrer Vereinigung (Schweißnaht) nahezu ebenso groß ist wie die-

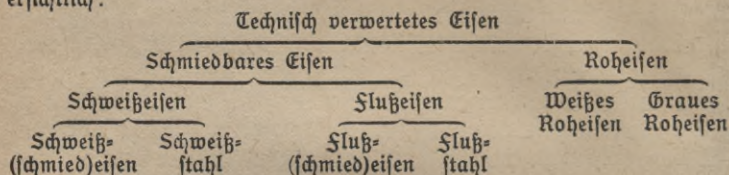
jenige in den beiden Stücken selbst. Diese Eigenschaft des schmiedbaren Eisens bezeichnet man mit Schweißbarkeit. Am besten schweißbar ist reines Eisen. Mit zunehmendem Gehalt an Kohlenstoff und anderen Elementen nimmt die Schweißbarkeit ab; besonders schädlich wirkt Schwefel in dieser Hinsicht. Sehr gut schweißbar ist, wie schon sein Name besagt, das Schweißeisen, und zwar aus folgendem Grunde: Zur Herbeiführung einer guten Schweißung sind reine metallische Flächen an der Schweißstelle Grundbedingung. Solche lassen sich nun beim Schweißeisen viel leichter erzielen als beim Flußeisen, weil der Schlacken Gehalt des ersteren die zusammenschweißenden Flächen mit einer dünnen Schlackenschicht überzieht, welche das Eisen zunächst vor der bei den hohen Schweißtemperaturen schnell eintretenden Oxidation durch die Luft schützt, dann aber beim Aufeinanderpressen der betr. Stücke infolge der großen Dünnsflüssigkeit nach allen Seiten hin entweicht, so daß Metall mit Metall in Berührung kommt.

Härtbarkeit. Härtbar nennt man alle diejenigen technischen Eisensorten, die nach sehr schneller Abkühlung (Abschrecken) aus höheren Temperaturen (Rotglut oder Weißglut) eine größere Härte haben als bei langsamer Abkühlung. Worauf die Härtbarkeit beruht, geht bereits aus dem Abschnitt über Härte hervor. Die Härtung erfolgt meist in der Weise, daß die ursprünglich langsam erkaltete, also perlitische Legierung auf Temperaturen oberhalb der Umwandlungszone bzw. -temperatur erhitzt und dann kurz darauf in Wasser oder ein anderes Kühlmittel getaucht wird. Die geeignetsten Härtetemperaturen liegen bei den gewöhnlichen Sorten schmiedbaren Eisens dicht oberhalb der Umwandlungszone, wenn es sich um kohlenstoffarme Sorten handelt, und dicht oberhalb der Umwandlungstemperatur, wenn kohlenstoffreichere, also zementithaltige in Betracht kommen. Einzelne Sonderlegierungen des Eisens, z. B. gewisse Mangan- und Nickelstähle verwandeln sich auch bei langsamer Abkühlung an der Luft nicht in Perlit, sondern sie behalten den bei höheren Temperaturen gebildeten martensitischen oder austenitischen Zustand (feste Lösung) bei. Sie befinden sich also von selbst ohne Abschrecken in gehärtetem Zustande und heißen daher selbsthärtende Stähle.

Fünftes Kapitel.

Einteilung und Benennung des technisch verwerteten Eisens.

Die Einteilung der technischen Eisensorten ist aus folgendem Schema ersichtlich:



Die beiden Hauptgruppen des technischen Eisens sind also: schmiedbares Eisen und Roheisen. Unter dem Begriffe „schmiedbares Eisen“ faßt man alle solchen technischen Eisensorten zusammen, die durch mechanische Behandlung bei höheren Temperaturen, wie Schmieden, Pressen, Walzen und ähnliche „Warmreckverfahren“, weitgehende Formänderungen ertragen, unter dem Begriffe „Roheisen“ alle übrigen Eisensorten.

In den gewöhnlichen technischen Eisensorten wird die Schmiedbarkeit besonders durch den Kohlenstoff beeinflusst, und zwar in der Weise, daß sie mit steigendem Kohlenstoffgehalt immer mehr abnimmt und schließlich ganz aufhört (vgl. S. 39). Daher kann auch der Kohlenstoffgehalt als Unterscheidungsmerkmal zwischen den beiden Hauptgruppen herangezogen werden. Schmiedbares Eisen ist dann also ein Eisen mit geringeren Kohlenstoffgehalten, Roheisen dagegen ein höher gekohltes Eisen. Die Grenze zwischen beiden liegt in der Nähe eines Kohlenstoffgehalts von etwa 1,5%. Eine noch schärfere Grenze festzulegen, ist überflüssig, weil Eisensorten mit 1,5 bis 2,5% C in der Technik kaum verwendet werden, und ist undurchführbar, weil der Übergang von schmiedbarem zu nicht schmiedbarem Eisen ganz allmählich stattfindet und auch jedes der übrigen, im technischen Eisen enthaltenen Elemente die Schmiedbarkeit in anderer Weise beeinflusst, also die Grenze verschiebt. Da diese Elemente übrigens ebenso wie der Kohlenstoff mit zunehmender Menge die Schmiedbarkeit verrin-

gern, so müssen die schmiedbaren Eisensorten auch an diesen Elementen ärmer sein als die Roheisensorten. Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal zwischen schmiedbarem Eisen und Roheisen besteht darin, daß das erstere bei der Erhitzung ganz allmählich vom festen über einen plastischen in den flüssigen Zustand übergeht, und zwar infolge des Auftretens der festen Lösung, die sich von der flüssigen eigentlich nur durch die geringere Beweglichkeit der kleinsten Teilchen unterscheidet. Das Roheisen dagegen, in dem die feste Lösung nur in untergeordneter Menge austritt, schmilzt bei der Erhitzung unmittelbar, ohne vorher einen plastischen Zustand durchzumachen.

Das Roheisen teilt man nach dem Aussehen der Bruchfläche weiter ein in weißes und graues Roheisen. Weiß erscheint die Bruchfläche, wenn der Kohlenstoff in ganzer Menge oder doch zum weitest aus größten Teil in Form von Eisenkarbid (Zementit) oder fester Lösung (Martensit) vorhanden ist, grau, wenn er zum größten Teile als Graphit oder Temperkohle ausgeschieden ist.

Das schmiedbare Eisen hat zwei Unterabteilungen: Schweiß-eisen und Flußeisen. Flußeisen wird in flüssigem Zustande gewonnen, ist daher nahezu frei von Schlacke, weil diese wegen ihres dem Eisen gegenüber geringeren spezifischen Gewichts im geschmolzenen Metall hochsteigt und sich dort an seiner Oberfläche ansammelt. Schweiß-eisen dagegen, das nur in halbgeschmolzenem, teigigem Zustande erzeugt wird, ist stets stark schlackehaltig, weil ein Entweichen der Schlacke nicht möglich ist. Das Schweiß-eisen wird weiter eingeteilt in die beiden Untergruppen: Schweißschmied-eisen (für gewöhnlich abgekürzt einfach Schweiß-eisen genannt) und Schweißstahl, das Flußeisen in die Untergruppen: Flußschmied-eisen (abgekürzt Flußeisen) und Flußstahl. Eine scharfe Grenze zwischen Schweißschmied-eisen und Schweißstahl bzw. zwischen Flußschmied-eisen und Flußstahl gibt es nicht. Der Unterschied zwischen Schmied-eisen und Stahl besteht lediglich darin, daß man mit ersterem stets weichere, weniger feste, aber zähere, mit Stahl dagegen härtere festere, jedoch sprödere Sorten schmiedbaren Eisens bezeichnet.

Früher benutzte man als Unterscheidungsmerkmal zwischen den beiden Untergruppen, soweit die gewöhnlichen Sorten schmiedbaren Eisens in Frage kamen, noch die Härtebarkeit (vgl. S. 41),

indem man mit Schmiedeeisen alle nicht deutlich härtbaren, mit Stahl alle deutlich härtbaren Sorten bezeichnete. Wegen des allmählichen Übergangs von nicht deutlicher zu deutlicher Härtbarkeit hat man diese aber jetzt als Unterscheidungsmerkmal aufgegeben. Auch einen bestimmten Kohlenstoffgehalt setzt man nicht mehr als Grenze zwischen Schmiedeeisen und Stahl fest, und zwar einmal aus dem soeben angeführten Grunde und dann auch, weil noch die übrigen in den schmiedbaren Eisensorten enthaltenen Elemente neben dem Kohlenstoff von Einfluß auf diese Grenze sind. So ist z. B. ein Flußeisen mit 0,3% Kohlenstoff und 0,1% Mangan unhärtbar, wäre daher als Flußschmiedeeisen anzusprechen, während es bei demselben Kohlenstoffgehalt, aber mit 1% Mangan ausgezeichnet härtbar ist und dementsprechend als Stahl zu bezeichnen wäre. Ganz undurchführbar ist eine Unterteilung in Schmiedeeisen und Stahl auf Grund der Härtbarkeit bei den schmiedbaren Sonderlegierungen des Eisens, nicht nur aus den genannten Gründen, sondern auch, weil es unter diesen Legierungen eine ganze Reihe gibt, die eine bedeutende Härte auch bei gewöhnlicher Abkühlung an der Luft ohne Abschrecken erhalten (selbsthärtende Stähle) oder von Natur aus infolge sehr harter Gefügebestandteile große Härte aufweisen (naturharte Stähle). Selbst eine bestimmte Zugfestigkeit kann nicht als einwandfreie scharfe Grenze zwischen Schmiedeeisen und Stahl angenommen werden, weil das Prüfungsergebnis verschieden ausfällt, je nachdem man dünne oder dicke Stäbe des Materials beim Zerreißversuch prüft. Trotzdem hat man in vielen Fällen die Zugfestigkeit als geeignetstes Unterscheidungsmerkmal anerkannt und ist übereingekommen, mit Flußstahl alles im flüssigen Zustande gewonnene schmiedbare Eisen zu bezeichnen, das nach dem Ausglühen eine Zugfestigkeit von 50 kg und mehr je qmm Querschnitt hat, und mit Schweißstahl alles im halbgeschmolzenen Zustande gewonnene, schlackenhaltige schmiedbare Eisen, das eine Zugfestigkeit von 42 kg und mehr auf 1 qmm Querschnitt aufweist.

In Ermangelung der Möglichkeit, eine scharfe Grenze zwischen Schmiedeeisen und Stahl festzusetzen, bezeichnet man in Amerika, England und Frankreich alle Sorten schmiedbaren Flußeisens, gleichgültig ob sie hart oder weich, fest oder weniger fest, härtbar oder nicht härtbar, kohlenstoffreich oder kohlenstoffarm sind, mit Stahl (steel,

acier). Auch in Deutschland ist man in letzter Zeit dazu übergegangen, den Unterschied zwischen Schmiedeeisen und Stahl in vielen Fällen ganz fallen zu lassen. So benennt man mit Elektrostahl alles im elektrischen Ofen erzeugte Flußeisen, mit Stahlguß oder Stahlformguß alles unmittelbar in endgültige Gebrauchsform gegossene Flußeisen, mit Sonder- oder Spezialstählen alle solchen Flußeisensorten, die eine ihrem bestimmten Sonderzweck angepasste Zusammensetzung haben, und zwar ohne Rücksicht auf Kohlenstoffgehalt, Härte und Härbarkeit. Auch wenn man die Begriffe Stahl und Eisen ohne nähere Angaben gegenüberstellt, versteht man unter Stahl im allgemeinen alles schmiedbare Eisen, insbesondere Flußeisen.

In der Praxis pflegt man die technischen Eisensorten oft auch noch nach anderen Gesichtspunkten zu benennen. Die verschiedenen Roheisensorten z. B. bezeichnet man nach demjenigen Verfahren, zur Umwandlung in schmiedbares Eisen, für die sie sich infolge ihrer chemischen Zusammensetzung als Ausgangsstoff eignen, also mit Puddel-, Bessemer-, Thomas-, Martin-Roheisen. Stahleisen ist ein besonders phosphorarmes Roheisen für den Martinprozeß. Ein zum Gießen nach vorhergegangenem Umschmelzen geeignetes Roheisen nennt man Gießereiroheisen. Nach dem Umschmelzen heißt es Gußeisen. Hämatit ist ein phosphorarmes Gießereiroheisen. Spiegeleisen eine manganreiche Legierung mit Roheisencharakter. Grauguß ist aus grauem Gußeisen hergestelltes Material, Temperguß solches aus weißem Gußeisen, dessen Eisenkarbid durch Glühen in Temperkohle und Eisen zerlegt ist. Über schmiedbaren Guß oder Temperstahlguß vgl. das betr. Kapitel. Das schmiedbare Eisen wird vielfach nach demjenigen Verfahren benannt, durch das es hergestellt ist: Puddelleisen, Thomasstahl, Martinflußeisen, Tiegelstahl usw. Gußstahl nannte man früher den in Tiegeln erzeugten, flüssig gewonnenen Stahl; gegenwärtig benutzt man den Ausdruck bisweilen unrichtigerweise auch noch für andere Flußstahlsorten, obwohl er besser ganz vermieden würde, weil er überflüssig geworden ist. Weiterhin kommen zur Bezeichnung technischer Eisensorten noch in Frage der Verwendungszweck (daher Schienenstahl, Kanonenstahl, Werkzeugstahl, Konstruktionsstahl), sodann bestimmte Legierungsbestandteile, die auf die Eigenschaften der betr. Sorten besonders große Einflüsse

ausüben (daher die Namen Kohlenstoffstahl, Nickelchromstahl, Wolframstahl), endlich die äußere Form (Quadrat-, Flach-, Band-, Rund-, Profileisen). Zum Schluß seien noch die für die Kriegszeit so besonders wichtigen, durch ihre hohen Chrom- und Wolframingehalte ausgezeichneten Schnellschnittstähle (Schnelldreh-, Schnellarbeitsstähle) erwähnt, die ihren Namen der großen Geschwindigkeit zu verdanken haben, mit der sie Gegenstände bearbeiten (abdrehen, abhobeln, durchbohren, fräsen usw.) können, ohne dadurch ihre Härte zu verlieren wie andere Stähle, die infolge der durch die große Reibung entstehenden Wärme eine Anlaßwirkung erfahren und dadurch wieder weich werden.

Sechstes Kapitel.

Die Brennstoffe.

Die meisten Verfahren zur Darstellung und Weiterverarbeitung des Eisens lassen sich nur mit Hilfe von Wärme durchführen. Wärme ist eine Energieform, die auf verschiedene Weise erhalten werden kann. Die gegenwärtig verbreitetste Art der Wärmeerzeugung besteht in der Verbrennung gewisser Stoffe, die im natürlichen Zustande hauptsächlich aus Verbindungen des Kohlenstoffs, Wasserstoffs, Sauerstoffs und Stickstoffs zusammengesetzt sind und nach ihrem Verwendungszweck als Brennstoffe bezeichnet werden. Die Verbrennung an sich ist ein chemischer Vorgang, und zwar eine bei höheren Temperaturen erfolgende Vereinigung eines Teils der in den Brennstoffen enthaltenen Elemente, insbesondere des Kohlenstoffs und Wasserstoffs, mit dem Sauerstoff der Luft zu Kohlensäure und Wasserdampf. Diese Vereinigung geht wie unzählig viele andere chemische Vorgänge unter Entwicklung mehr oder weniger bedeutender Wärmemengen vor sich. Je nachdem ein Brennstoff für den einen oder anderen Zweck verwendet wird, sind die Anforderungen, die an seine Eigenschaften gestellt werden, auch verschieden. In nahezu allen Fällen wird jedoch derjenige Brennstoff als der hochwertigste anzusehen sein, der bei sonst geeigneter Beschaffenheit auch den größten Heizwert (absoluten Wärmeeffekt) hat. Der Heizwert wird in der Technik in Wärmeeinheiten (W.-E.)

oder Kalorien gemessen. Eine Wärmeeinheit ist diejenige Wärmemenge, die nötig ist, um 1 kg Wasser um einen Grad Celsius zu erwärmen. Die bei der Verbrennung freiwerdende Wärmemenge ist für einen bestimmten Brennstoff stets die gleiche, ohne Unterschied, ob die Verbrennung langsam ohne oder schnell mit Lichtentwicklung erfolgt, lediglich die Temperatur ist dementsprechend verschieden hoch. Die Erreichung einer möglichst hohen Temperatur durch einen bestimmten Brennstoff ist außerdem noch abhängig von der Einrichtung der Feuerungsanlage, der Menge des zur Verbrennung erforderlichen Luftüberschusses und von sonstigen Faktoren. Im folgenden sind die gegenwärtig für das Eisenhüttenwesen wichtigsten Brennstoffe aufgeführt.

Natürliche Brennstoffe. Ein großer Teil der für gewöhnlich mit Brennstoffen bezeichneten Stoffe kommt in der Natur vor, und zwar als Holz, Torf, Braunkohle, Steinkohle (einschl. Anthrazit) im festen, als Erdöl im flüssigen und als Naturgas im gasförmigen Zustande.

Holz und Torf werden in der Eisenindustrie nur für untergeordnete Zwecke, rohe Braunkohlen öfter, aber auch nur in verhältnismäßig geringem Umfange verwendet, und zwar in der Hauptsache wegen ihres auch im lufttrockenen Zustande noch hohen Wassergehaltes, der den Heizwert ganz außerordentlich herunderdrückt. Beim Holz stehen der Verwendung auch noch die hohen Preise entgegen. In Form von Briketts, die einen Heizwert von etwa 5000 W.-E. haben, werden Braunkohlen schon häufiger im Eisenhüttenwesen verwertet, besonders in solchen Gegenden, in denen sie gewonnen werden.

Steinkohlen. Dagegen spielen die Steinkohlen im Eisenhüttenwesen eine desto größere Rolle. Rund der dritte Teil aller gewonnenen Steinkohlen wird für die Darstellung und Weiterverarbeitung des Eisens verwendet. Die Steinkohlen sind ebenso wie Torf und Braunkohlen die Reste von Pflanzen, die vor Urzeiten auf der Erde üppig wucherten, nur sind die Steinkohlen um viele Millionen Jahre älter als jene. Die folgende kleine Übersicht gibt Aufschluß über die geologische Entstehungsperiode der wichtigsten natürlichen Brennstoffe, ihre ungefähre Zusammensetzung im reinen aschefreien Zustande und ihren Heizwert:

Bezeichnung	Geologische Entstehungsperiode	Zusammensetzung der reinen wasser- und aschefreien Substanz in Gewichtsprozent.			Heizwert d. reinen brennbaren Subst. in W.-E.	Heizwert des Rohstoffs mit Wasser u. Aschebestandteilen in W.-E.
		C	H	O		
Holz	Alluvium	50	6	44	4500	Lufttrocken 3600
Torf	{ Alluvium Diluvium	60	6	34	6500	Lufttrocken 3500—4500
Braunkohle	Tertiär	65—75	6	29—19	6500—7000	Lufttrocken bis 5000
Steinkohle	Meistens Karbon	75—90	6—4	19—6	7700—8600	6500—8400
Anthrazit	Karbon, Devon, Silur	95	2	3	8500	7500—8000

Man erkennt hieraus, daß der Kohlenstoffgehalt und mit ihm auch der Heizwert der genannten Brennstoffe im allgemeinen desto größer ist, je höher ihr geologisches Alter ist. Auch die übrigen Eigenschaften der Steinkohlen schwanken in sehr weiten Grenzen. Dies zeigt sich z. B. besonders deutlich bei der Erhitzung unter Luftabschluß, einem Vorgang, den man technisch „Verkokung“ nennt und bei dem die flüchtigen Bestandteile in Form von Gasen entweichen, während die nichtflüchtigen (insbesondere Kohlenstoff und sonstige mineralische Beimengungen) als Rückstand in dem luftdicht geschlossenen Raum zurückbleiben. Je geringer der Kohlenstoffgehalt und je höher der Sauerstoffgehalt der Rohkohle, desto größer ist im allgemeinen bei der Verkokung die entweichende Gasmenge und desto geringer die Menge des Rückstandes, des Koks. Aber nicht nur die Menge des Koks ist sehr verschieden, sondern auch seine Beschaffenheit. Auf Grund dieser Beschaffenheit des Koks und derjenigen der flüchtigen Bestandteile teilt man die Steinkohlen in verschiedene Gruppen ein.

Solche Kohlen, die bei der Verkokung das geringste Koksaustragen (50—60%), dafür aber die größte Menge von flüchtigen Bestandteilen haben, sind die trockenen oder Gasflammkohlen, die mit langer, stark rauchender Flamme verbrennen. Der als Rückstand bei der Erhitzung unter Luftabschluß übrigbleibende Koks der vorher feingemahlene Kohle ist pulverförmig, höchstens schwach gefrittet. Man nennt die Gasflammkohlen daher auch Sandkohlen. Ein

etwas höheres Koksausbringen (60—68%) haben die ebenfalls mit langer Flamme verbrennenden Gaskohlen, deren Koks sintert, d. h. in seinen Teilchen oberflächlich zusammenklebt (daher auch Sinterkohlen), bisweilen schwach schmilzt, dann aber stark zerklüftet ist. Die Gaskohlen werden hauptsächlich zur Leuchtgaserzeugung, auch als Flammofen- und Generatorkohlen verwendet. Noch günstiger ist das Koksausbringen bei der mit mittlerer Flamme und weniger Rauch verbrennenden eigentlichen Fettkohle (Schmiedekohle); es beträgt 68—74%. Da diese Kohlen bei der Erhitzung zusammenbacken, werden sie auch Backkohlen genannt. Der Koks ist geschmolzen, fest, mäßig gebläht; die Fett- oder Backkohlen sind daher auch zur Koksdarstellung geeignet (s. weiter unten). Sodann folgen mit einem Koksausbringen von 74—82% die mit kurzer, nur wenig rauchender Flamme verbrennenden ebenfalls fetten, backenden Kohlen, die einen vorzüglichen, geschmolzenen, kompakten, nur wenig geblähten, sehr festen Koks ergeben. Daher werden sie hauptsächlich zur Erzeugung dieses künstlichen Brennstoffes verwertet und haben auch die Bezeichnung Koks-kohlen. Die dann folgenden Magerkohlen liefern wiederum wie die Gasflammkohlen nur einen sinternenden Koks; sie eignen sich gut zum Beheizen von Dampfkesseln, besonders auf Schiffen. Die Reihe der Steinkohlen wird beschlossen durch die sehr gasarmen, mit kleiner blauer Flamme fast rauchfrei verbrennenden anthrazitischen Kohlen und Anthrazite, deren Koks wie bei den Gasflammkohlen pulverförmig oder gefrittet ist bei einer Ausbeute bis zu 90% und darüber. Sie werden als Hausbrand-, Kesselskohle u. dgl. verwendet.

Flüssige und gasförmige natürliche Brennstoffe, also Erdöl und Naturgas werden auf Hüttenwerken als Heizstoffe in größerem Umfange im allgemeinen nur in solchen Gegenden verwendet, an denen sie an Ort und Stelle in großen Mengen billig zur Verfügung stehen, also z. B. an ihren Gewinnungsstätten in Nordamerika (Pennsylvanien) und Rußland (Baku).

Künstliche Brennstoffe. Die natürlichen Brennstoffe genügen dem Eisenhüttenmann aus Gründen, die bei den einzelnen Brennstoffen noch besprochen werden sollen, nicht für alle Zwecke. Er ist daher in vielen Fällen gezwungen, sich aus den natürlichen Brennstoffen künstliche herzustellen. Auch als Nebenerzeugnisse

werden künstliche Brennstoffe gewonnen und dann in großem Umfange nutzbar gemacht. Die künstlichen Brennstoffe werden ebenso wie die natürlichen in festem, flüssigem und gasförmigem Zustande verwertet.

Der am längsten in der Eisenindustrie verwendete künstliche feste Brennstoff ist, wie bereits aus dem ersten Kapitel hervorgeht, die Holzkohle, die früher ausschließlich in Meilern, d. h. sorgfältig geschichteten, mit Erde überdeckten Haufen, durch Verkohlen von Holz gewonnen wurde und zuerst als Heiz- und Reduktionsstoff zur unmittelbaren Darstellung schmiedbaren Eisens aus Erzen diente, dann auch zur Darstellung von Roheisen im Hochofen und von schmiedbarem Eisen im Frischfeuer. In der Gegenwart wird Holzkohle wegen ihres hohen Preises im größeren Umfange nur noch in kohlenarmen Eisenerzgegenden wie Schweden, Steiermark u. a. zur Eisendarstellung verwendet. In Deutschland wird Holzkohlenroheisen lediglich für gewisse Sonderzwecke noch bei Schmalkalden (Thüringer Wald), Rübeland (Harz) und Landsberg (Oberschlesien) erzeugt. Statt der Holzkohlen versuchte man später notgedrungen Steinkohlen zur Roheisendarstellung im Hochofen zu verwerten. Gewisse Sorten, wie die schottischen festen Gasflammkohlen oder die pennsylvanischen Anthrazite, lassen sich auch tatsächlich als Hochofenbrennstoff verwerten, die meisten Steinkohlen erweisen sich dafür aber als vollständig ungeeignet, weil sie meist zu weich sind, daher durch den großen Druck und die starken Reibungen beim Abwärts-sinken im Hochofen zerdrückt und zerrieben werden und dann die zum Durchgang der Gase unbedingt notwendigen Zwischenräume zwischen der Hochofenbeschickung verstopfen würden. Viele Kohlen-sorten würden überdies noch untereinander oder mit den übrigen Rohstoffen infolge ihrer Neigung zum Sintern und Backen zu einer festen Masse zusammenwachsen und dadurch in noch höherem Maße das Aufsteigen der Gase verhindern, so daß schließlich der Prozeß überhaupt zum Stillstand kommen würde. Aus diesem Grunde mußte man sich in Ermangelung eines anderen geeigneten natürlichen Brennstoffs nach einem künstlichen umsehen, den man in Gestalt des aus Steinkohlen (insbesondere Fettkohlen) gewonnenen Koks fand. Der Koks ist fest und hart, daher sehr widerstandsfähig gegen Druck und Reibung, er sintert

und brennt nicht zusammen, hat außerdem infolge seines hohen Kohlenstoffgehalts großen Heizwert und ist wegen seiner Porosität gut zu vergasen. Gegenüber der Holzkohle hat der Koks allerdings den großen Nachteil, daß er Schwefel und viel Asche enthält, die aus den von Natur beigemengten oder bei der bergmännischen Gewinnung hineingeratenen Mineralien stammt.

Die Darstellung des Koks erfolgt meist gleich auf den Steinkohlenbergwerken selbst in den Koksöfen. Aus den bei der Verkokung der Steinkohlen entweichenden Gasen werden zahlreiche wichtige Stoffe gewonnen, wie z. B. Teer, Teeröle, Harze, Ammoniakwasser und Kohlenwasserstoffe, wie Benzol, Toluol, Xylol. Das Ammoniakwasser wird meist gleich an Ort und Stelle zu schwefelsaurem Ammoniak, einem sehr begehrten landwirtschaftlichen Düngemittel, weiter verarbeitet. Teer, Ammoniak und die Kohlenwasserstoffe der Benzolreihe sind die Ausgangsstoffe einer langen Reihe sehr wertvoller Erzeugnisse, die in besonderen chemischen Fabriken daraus hergestellt werden. Das Haupterzeugnis der Kokereien, der Koks, muß fest, hart und porös sein, stengliges Gefüge, graue bis silberweiße Farbe haben und beim Anschlagen einen hell klingenden Ton geben. Er soll neben 81—87% Kohlenstoff nicht mehr als 9—11% Asche, 2—5% Wasser und 0,9 bis höchstens 1,25% Schwefel enthalten. Der Heizwert des Kokes beträgt je nach der Zusammensetzung 7000—7600 W.-E. Neben dem Hochofenkoks wird im Eisenhüttenwesen hauptsächlich noch Koks zum Umschmelzen von Roheisen in Gußeisen im Kupolofen verwendet. Dieser Koks wird auf den Kokereien als sog. Gießereikoks aus dem Hochofenkoks meist herausgesucht. Er ist im allgemeinen kleinstückiger als der letztere und soll nach Möglichkeit dichter und schwefelärmer sein.

Künstliche flüssige Brennstoffe, wie Petroleum, das durch Destillation aus dem Erdöl gewonnen wird, werden ebenso wie das Erdöl selbst meist nur in solchen Gegenden auf Eisenwerken verwendet, in denen sie in großen Mengen an Ort und Stelle gewonnen werden können.

Dagegen spielen die künstlich erzeugten gasförmigen Brennstoffe allenthalben in der Eisenindustrie eine sehr bedeutende Rolle. Als zwei besonders wichtige, als Nebenerzeugnisse gewonnene, gasförmige Brennstoffe seien das Koksofen-

und das Hochofen- oder Gichtgas genannt. Das bei der Verkokung der Steinkohlen entstehende, von Teer, Ammoniak, Benzolkohlenwasserstoffen usw. befreite Koksogengas besteht in der Hauptsache aus Wasserstoff und Methan. Der Heizwert beträgt je nach der Zusammensetzung 3500—5000 W.-E. je cbm. Der größere Teil der Koksogengase wird meist zur Beheizung der Koksöfen selbst gebraucht, während der Rest zur Erzeugung von Dampf, zum Antrieb von Gasmaschinen, zur Beleuchtung und neuerdings auch zur Beheizung von Martinöfen verwendet wird. Um die hochwertigen Koksogengase besser auszunutzen, ist man in letzter Zeit stellenweise schon dazu übergegangen, die Koksöfen mit Gichtgas oder minderwertigem Generatorgas zu beheizen und die Koksogengase ganz für die übrigen Zwecke zu verwerten. Das Hochofen- oder Gichtgas entsteht bei der Darstellung des Roheisens im Hochofen, aus dessen oberstem Teil, der Gicht, es abgezogen wird. Die Zusammensetzung des Gichtgases schwankt in ziemlich weiten Grenzen, sie ist in erster Linie abhängig von der Menge des aufgegebenen Brennstoffs und der Art der verschmolzenen Erze. Der wertvollste Bestandteil der Gichtgase ist das Kohlenoxyd (bis zu 30%). Wegen des hohen Stickstoffgehaltes (etwa 60%) ist der Heizwert sehr gering. 1 cbm Gichtgas erzeugt nur 600—950 W.-E. Über die Verwendung der Gichtgase ist Näheres im achten Kapitel zu finden.

Vorteile der Heizung mit gasförmigen Brennstoffen. Generatorgas. Zur Darstellung von Flußeisen in Herdöfen (Martinöfen) sind sehr hohe Temperaturen erforderlich. Diese lassen sich nur durch Verbrennung von gasförmigen Brennstoffen erzielen, und zwar aus folgenden Gründen: Zur Durchführung einer vollkommenen Verbrennung von Brennstoffen, d. h. zur vollständigen Oxydation des darin enthaltenen Kohlenstoffs und Wasserstoffs ist stets ein gewisser Luftüberschuß nötig. Je größer dieser sein muß, desto niedriger wird auch die durch die Verbrennung des Brennstoffs erzeugte Temperatur ausfallen, weil die Luft einen Teil der entwickelten Wärmemenge zu ihrer eigenen Erwärmung verbraucht. Man wird daher die Verbrennung mit einem möglichst geringen Luftüberschuß durchzuführen trachten. Dies ist aber bei keinem Brennstoff besser möglich wie bei einem gasförmigen, weil sich die Luft mit einem

solchen leicht vermischt, so daß jedes kleinste Teilchen des Gases auch den zu seiner vollständigen Verbrennung notwendigen Luft-sauerstoff unmittelbar neben sich zur Verfügung hat und dadurch viele Teilchen trotz geringer Luftzufuhr auf einmal ganz verbrennen können. Weiterhin kann man die Temperatur bei Verbrennung gasförmiger Brennstoffe dadurch bedeutend erhöhen, daß man diesen sowohl als auch der zur Verbrennung erforderlichen Luft schon vor der Verbrennung durch Vorwärmen einen möglichst großen Wärmevorrat mit auf den Weg gibt (vgl. die Siemensfeuerung beim Martinverfahren), und zwar gleich durch die heißen Verbrennungsgase (Abgase) selbst. Neben der Erzielung hoher Temperaturen hat die Heizung mit gasförmigen Brennstoffen auch noch andere große Vorteile. So läßt sich die Temperatur im Ofen durch Veränderung der zugeführten Gas- und Luftmengen einfach regeln. Sodann geht die Verbrennung rußfrei und sehr gleichmäßig vor sich und ist auch insofern wirtschaftlich, als die Gase an einer Zentralstelle erzeugt werden können. Schließlich ist noch von großem Werte, daß auch minderwertige Brennstoffe zur Gaserzeugung verwendet werden können.

Da auf den meisten Hüttenwerken Koks-Ofengase bei weitem nicht in genügender Menge zur Heizung der Martinöfen zur Verfügung stehen, müssen in besonderen Generatoren brennbare Gase erzeugt werden. Von Gasgeneratoren ist eine sehr große Anzahl der verschiedensten Systeme in Anwendung. Sie bestehen sämtlich in der Hauptsache aus einem zylindrischen Schacht, in den von oben her durch besondere Beschickungsvorrichtungen der zu vergasende Brennstoff eingeführt wird, während von unten her Luft oder Luft und Wasserdampf eingeblasen wird. Die infolge unvollkommener Verbrennung entstandenen Gase entweichen durch ein im oberen Teil angebrachtes Rohr. Die Zusammensetzung der Gase ist in erster Linie von der Art des festen Brennstoffs und der Durchführung des ganzen Verbrennungsprozesses abhängig. Ein gutes Generatorgas enthält 26—32 Volumprozent Kohlenoxyd, 8—12% Wasserstoff, einige Prozente Methan und Kohlenensäure und mehr als 50% Stickstoff. Der Heizwert der Generatorgase schwankt zwischen 1000 und 1500 W.-E.

Siebentes Kapitel.

Die für die Darstellung des Eisens wichtigsten Rohstoffe und ihre Vorbereitung für die Verhüttung.

Eisenerze. Eisen kommt in der Natur in gediegenem Zustande, d. h. als reines Metall oder Eisenlegierung nur ganz vereinzelt und meist nur in sehr geringen Mengen vor, jedenfalls soweit unsere Kenntnis hierüber reicht. So findet man es z. B. besonders in trockenen Polargegenden in Form von nickelhaltigem Meteorereisen, das von fremden Himmelskörpern stammt und beim Durchfliegen des Weltenraums von der Erde angezogen wurde. Als Rohstoffe für die Darstellung des Eisens im großen sind derartige natürliche Eisenlegierungen bedeutungslos. Hierfür kommen vielmehr nur einige wenige Eisenerze in Betracht. Es sind dies insbesondere gewisse chemische Verbindungen des Eisens mit Sauerstoff (Oxyde), mit Sauerstoff und Wasserstoff (Hydroxyde) und die kohlen-saure Verbindung des Metalls (Eisen-carbonat).

Die Eisenerze kommen nur ausnahmsweise in chemisch reinem Zustande in der Natur vor, fast immer findet man sie mit anderen Mineralien (Gangarten) vermengt vor. Außerdem ist ihnen meist ein mehr oder weniger großer Feuchtigkeitsgehalt (Grubenfeuchtigkeit) eigen. Bei der bergmännischen Gewinnung¹⁾ werden sie dann weiterhin oft noch durch Teile des Nebengesteins, zwischen dem sie lagerten, verunreinigt. Aus diesen Gründen erreichen die den Hüttenwerken gelieferten Erze niemals den Gehalt an Eisen, den sie in chemisch reinem Zustande haben würden. Die die Erze verunreinigenden Gangarten und Nebengesteinsstücke bedingen den Gehalt der Erze an Kalk (CaO), Kieselsäure (SiO_2), Tonerde (Al_2O_3), Magnesia (MgO), Phosphorsäure, Manganoxyden usw. und sind neben anderen Umständen maßgebend für den Wert und die Verwertbarkeit der Erze. Vollständig unwerthbar für den Eisenhüttenmann ist z. B. ein Erz, wenn es eine solche Menge an Gangarten und Nebengestein und dementsprechend so wenig Eisen enthält, daß sich eine Verhüt-

1) Näheres hierüber in dem in Vorbereitung befindlichen Bändchen 467 dieser Sammlung: Wedding, Bergbau.

tung auf Eisen mit wirtschaftlichem Erfolge nicht mehr durchführen läßt. Der Grenzgehalt an Eisen, unterhalb dessen die Verhüttung eines Erzes nicht mehr lohnend ist, kann je nach den ganzen Verhältnissen sehr verschieden sein. Im allgemeinen sind Erze mit weniger als 25% Eisen nur ausnahmsweise zur Eisendarstellung zu verwerten. Auch die chemische Zusammensetzung der beigemengten Bestandteile ist von ausschlaggebender Bedeutung für die Verwertbarkeit der Erze. So können unter Umständen solche Erze, die zwar einen genügend hohen Gehalt an Eisen haben, deren Gangarten aber sehr reich an Kieselsäure sind, nicht verschmolzen werden, weil sie im Hochofen zur Verflüssigung der Schlacke eine zu bedeutende Menge an kalkigen Zuschlägen (s. S. 59) gebrauchen und dadurch den Hochofenprozeß unwirtschaftlich machen würden. Andere an Eisen genügend reiche Erze, wie Arsenkies ($FeSAs$) und Schwefelkies (FeS_2), endlich lassen sich nicht auf Eisen verhütten, jedenfalls nicht ohne weiteres, weil Arsen und Schwefel in derartigen Mengen das Eisen vollständig unbrauchbar machen würden. — Die für die Darstellung des technisch verwerteten Eisens wichtigsten Eisenerze sind der Magnet-, Rot-, Braun- und Spateisenstein.

Magneteisenstein, Magnetit, Eisenoxyd Fe_3O_4 , theoretisch möglicher Höchstgehalt an Eisen 72,4%, natürlicher Gehalt 45—70%. Das ausgedehnteste Magneteisenerzvorkommen ist das im nördlichen Schweden (Gällivara, Kirunavara und Luossavara). Der größte Teil von diesen Erzen wird in Deutschland und England verhüttet. Weitere berühmte Magneteisensteinvorkommen liegen in Mittelschweden bei Grängesberg und bei Dannemora. Die Erze von Dannemora sind phosphorfrei; sie bilden die Grundlage für die Darstellung des wegen seiner Reinheit berühmten schwedischen Holzkohlenroheisens. Ferner kommt Magneteisenerz in großen Lagern vor in Norwegen, dem Ural, Ungarn und außerdem an zahlreichen Stellen außerhalb Europas, insbesondere in den Vereinigten Staaten und Nordafrika. In Deutschland ist das bekannteste, im übrigen aber unbedeutende Vorkommen das bei Schmiedeberg im Riesengebirge.

Roteisenstein, Hämatit, Eisenoxyd Fe_2O_3 , Gehalt des chemisch reinen Minerals an Eisen 70%, natürlicher Gehalt 40—65%. Das Erz ist leicht erkennbar an dem roten Strich, den es beim

Reiben auf einer rauhen weißen Porzellanplatte hinterläßt. Mächtige Lager von Roteisenstein finden sich in den Vereinigten Staaten von Amerika am Lake Superior (Oberer See), und zwar in den Staaten Minnesota, Michigan, Wisconsin, ferner am Atlantischen Ozean in Alabama. Das dortige Erz ist reich und liegt zum großen Teil unmittelbar an der Erdoberfläche, so daß es leicht gewonnen werden kann. Weitere große Roteisensteinlager gibt es auf der Insel Kuba. In England tritt Roteisenstein hauptsächlich in West-Cumberland und Lancashire auf. Von großer Bedeutung sind die Roteisenerzlager vieler Mittelmeerländer. Als das berühmteste und schon im Altertum bekannte ist das der Insel Elba zu nennen, wo das Erz schön kristallisiert als sog. Eisenglanz austritt. In Spanien findet sich das Mineral an vielen Stellen, besonders bei Bilbao und Cartagena. Ganz hervorragend reiner Roteisenstein wird auf den Höhen des Atlasgebirges gefunden in Algier, Tunis und in Marokko. Aus Spanien und den nordafrikanischen Ländern wird eine große Menge Erz nach Deutschland und England ausgeführt. Von sonstigen ausländischen Roteisensteinlagern ist noch dasjenige von Krivoi Rog in Rußland sehr berühmt, das seinerzeit viel Erz nach Oberschlesien lieferte. In Deutschland tritt der Roteisenstein in größerer Menge im Lahn- und Dillgebiet neben Brauneisenstein auf. Sonstige deutsche Vorkommen von geringerer Bedeutung liegen im Harz, Thüringer Wald, Erzgebirge, im sächsischen Vogtlande, Westfalen (Brilon, Minden), Hannover (Osnabrück).

Brauneisenstein, Limonit, Eisenhydroxyd mit wechselndem Gehalt an Hydratwasser; Zusammensetzung schwankt zwischen $2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$ und $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$; höchstmöglicher Eisengehalt des reinen, getrockneten Minerals 60%, im natürlichen Zustande weit geringer, bis herunter zu 24%. Im Gegensatz zum Roteisenstein gibt das Erz auf einer rauhen Porzellanplatte einen braunen bis hellgelben Strich. Die wichtigste Abart des Brauneisensteins ist das oolithische Erz; es besteht aus Knollen und Körnern, die durch ein kieseliges, toniges oder kalkiges Bindemittel fest verkittet sind. Das größte Vorkommen oolithischen Brauneisensteins und zugleich die größte Eisenerzlagerstätte Europas ist das zusammenhängende Minettlager in Lothringen, Luxemburg und Frankreich mit dem Mittelpunkte

etwa bei dem lothringischen Dorfe Aumetz. Das Minettevorkommen bildet die wichtigste Quelle der deutschen Erzerzeugung (vgl. S. 14). Der Eisengehalt der Minette ist gering, er schwankt zwischen nur 28 und 39%, auch an Mangan ist das Erz arm, dagegen reich an Phosphor (im Mittel 0,75%). Wegen ihres sich ergänzenden Gehalts an Kalk und Kieselsäure sind die verschiedenen Minetteerze bei richtiger Mischung selbstgehend (vgl. S. 60). Ein zweites oolithisches Brauneisenerzvorkommen von großer Bedeutung ist dasjenige von Groß-Ilse (Prov. Hannover). Das dortige Erz wird wegen des Auftretens von Knollen verschiedener Größe auch als Bohnerz bezeichnet. Neben viel Phosphor enthält es Mangan; beim Zusammenschmelzen mit geeigneten Erzen bedürfen auch die Ilseer Bohnerze keines Zuschlages. Sonstige Vorkommen oolithischen Brauneisensteins finden sich am Harz (Harzburg, Salzgitter), am Teutoburger Wald, im Wesergebirge, Vogelsberg (Hessen), Schweizer Jura und in der Schwäbischen Alb.

Gewöhnlicher Brauneisenstein mit hohem Eisen- und Mangan-gehalt und von höchster Reinheit wird in Algier und Spanien gewonnen und nach Deutschland und England ausgeführt. Sonstige Brauneisensteinvorkommen liegen im Ural, Österreich-Ungarn, Griechenland und auf der englischen Halbinsel Wales. In Deutschland tritt das Erz neben dem Roteisenstein im Lahn- und Dillgebiet auf, ferner in Bayern (Amberg), im Siegerland, bei Osnabrück und schließlich, durch Blei und Zink verunreinigt, auch in Oberschlesien, wo es bald erschöpft ist. Als kleinere Vorkommen sind noch diejenigen in Thüringen (Saalfeld, Groß-Kamsdorf, Schmalkalden) zu erwähnen.

Eine Abart des Brauneisensteins, das phosphorhaltige Raseneisenerz (Wiesen-, Sumpf-, Seeerz), welches besonders in der Norddeutschen Tiefebene an vielen Stellen abgelagert war, ist bereits zum größten Teile aufgebraucht und kommt daher für die Eisenindustrie nur noch wenig in Betracht.

Spateisenstein (Siderit, FeCO_3), mit einem theoretischen Eisengehalt von 48,3% und einem natürlichen von meist unter 40%. Von außerdeutschen Spateisensteinlagerstätten ist diejenige in Steiermark in der Nähe von Leoben am berühmtesten. Die dortigen Erze, die schon von den alten Römern abgebaut und

verhüttet wurden, zeichnen sich durch seltene Reinheit aus. Neben diesem Erzvorkommen ist das in Kärnten und Ungarn von Bedeutung. Das wichtigste deutsche Spatvorkommen ist das an der Sieg. Der Siegerländer Spateisenstein hat einen geringen Phosphor- und mittleren Mangan Gehalt (5—7%), dessentwegen er sich z. B. auch zur Spiegeleisendarstellung vorzüglich eignet.

Eine Abart des Spateisensteins ist der Toneisenstein (Sphärosiderit), ein mit Ton innig gemengter Spateisenstein. Die Hauptfundstätten von Toneisenstein liegen in England (Norfolkshire). In Deutschland findet sich ein ausgedehntes, aber noch nicht in Abbau genommenes Toneisensteinvorkommen an der holländischen Grenze in der Gegend von Bentheim, Ochtrup, Gronau, Alstätte, Ahaus, Stadtlohn. Ist das Erz noch mit Kohle gemengt wie in Schottland, so heißt es Kohleneisenstein (blackband). Zwei Drittel aller in England geförderten Eisenerze sind Ton- bzw. Kohleneisensteine.

Sonstige Rohstoffe. Neben den Erzen werden noch eine Reihe verschiedener Rohstoffe wegen ihres Gehalts an Eisen oder anderen Elementen für die Darstellung der technischen Eisensorten verwertet. Hierher gehören z. B. die Kiesabbrände, wie man die bei der Darstellung von Schwefelsäure zurückbleibenden gerösteten, d. h. unter Luftzutritt erhitzten Schwefelkiese (FeS_2) nennt, die nach der Röstung im wesentlichen aus Eisenoxyd bestehen; ferner die vorwiegend Fe_2O_3 enthaltenden Purpurerze (englisch purple ore), das sind feingemahlene, chlorierend geröstete und zur Gewinnung von Kupfer ausgelaugte Kiese, vornehmlich Kupferkiese (CuFeS_2). Auch eisenreiche Schlacken, wie Rennfeuer-, Frischfeuer-, Schweiß- und Puddelschlacken, zählen hierzu. Letztere sind wegen ihres hohen Phosphorgehalts besonders wertvoll für die Darstellung von Thomasroheisen; da sie immer seltener werden, so muß hierfür leider öfter auch ein Teil der gewonnenen Thomas- und Martinschlacken wieder verschmolzen werden. Endlich seien noch als eisenhaltige Rohstoffe der Konverterauswurf, der beim Bessemer- und Thomasverfahren aus den Birnen geschleudert wird, und gewisse Rückstände aus der Anilinfabrikation erwähnt.

Weiterhin sind die manganhaltigen Eisenerze und die eigentlichen Manganerze (mit mindestens 30% Mangan) ungeheuer

wichtige Rohstoffe für das Eisenhüttenwesen; denn Mangan spielt nicht nur eine Rolle als ein in vielen technischen Eisensorten enthaltener, ihre Eigenschaften stark beeinflussender Legierungsbestandteil, sondern auch als Mittel zur Veredelung des technischen Eisens, insofern als es in Form einer Legierung mit Eisen, nämlich als Ferromangan, dem geschmolzenen Eisen zugesetzt, dieses von einem Teil des Schwefels, insbesondere aber des durch das Frischen hineingebrachten Sauerstoffs befreit (Desoxidation). An manganhaltigen Eisenerzen, insbesondere aber an eigentlichen Manganerzen ist Deutschland leider sehr arm. Die Hauptvorkommen liegen in Südrußland, und zwar die wichtigsten im Kaukasus im Gouvernement Kutais. Die Erze, die durchschnittlich 50 v. H. Mangan enthalten, werden über den Hafen Poti ausgeführt. Deutschland allein bezog im Jahre 1913 hiervon 447 000 t. Weitere Manganerzvorkommen finden sich in Britisch-Indien und Brasilien. Aus ersterem Lande wurden 1913 insgesamt 178 000 t nach Deutschland ausgeführt.

Zuschläge. Die Eisenerze sind, wie oben ausgeführt wurde, durch Mineralien verschiedenster Art (Gangarten) verunreinigt, vorwiegend durch solche, die Kieselsäure, Tonerde, Kalk, Magnesia enthalten. Auch der zum Verschmelzen der Erze notwendige Brennstoff (Koks) enthält stets gewisse, der Rohkohle entstammende Mineralien, die nach der Verbrennung als Asche zurückbleiben. Der größte Teil dieser mineralischen Beimengungen wird nun nicht bei den Darstellungsverfahren in Hochofen oder in den anderen in Betracht kommenden Schmelzöfen vom Eisen aufgelöst, sondern bildet neben ihm eine Schlacke. Diese muß, insbesondere beim Hochofenprozeß, in den flüssigen Zustand übergeführt, also geschmolzen werden; im festen Zustande ließe sie sich nicht in so einfacher Weise entfernen und verarbeiten, auch würden die chemischen Reaktionen zwischen ihr und dem Metall sich nicht so leicht in der gewünschten Weise vollziehen. In vielen Fällen ist nun aber die Bildung einer flüssigen Schlacke aus den Gangarten nicht ohne weiteres möglich, weil ihr Schmelzpunkt oberhalb der im Ofen herrschenden Temperaturen liegt. So haben z. B. die meisten Erze zu kieselsäure- und tonerdereiche Gangarten, die bei den Hochofentemperaturen nicht eine schmelzbare Schlacke zu bilden vermögen. Eine solche

läßt sich aber leicht dadurch erzielen, daß man dem Erz einer Stoff zusetzt, einen „Zuschlag gibt“, der eine Schmelzpunktserniedrigung der schlackebildenden Bestandteile bewirkt. Für kieselsäure- und tonerdereiche (saure) Erze sind Kalk, notfalls auch Dolomit (Kalkmagnesiakarbonat) die geeignetsten Zuschläge, weil sie als „basische“ Stoffe den Schmelzpunkt der sauren Beimengungen stark herabdrücken. Man schlägt übrigens den Erzen meist mehr Kalk zu, als zur Erreichung des niedrigsten Schmelzpunktes der Schlacke erforderlich ist, weil der Kalk auch noch die wichtige Aufgabe hat, einen Teil des dem Eisen so gefährlichen Schwefels der Rohstoffe an sich zu reißen und in die Schlacke zu überführen. In einzelnen Fällen, so z. B. im lothringischen Minette-Revier und im Erzbezirk von Ilse, liegen so günstig zusammengesetzte kalkreiche und kieselsäurehaltige Erze beieinander, daß sie, im richtigen Verhältnis miteinander vermischt, von selbst eine leicht schmelzbare Schlacke im Hochofen bilden, also keines Zuschlages bedürfen. Derartige Erze bezeichnet man mit selbstgehend. Die aus Kieselsäure, Tonerde, Kalk, Magnesia und sonstigen Stoffen (z. B. Manganoxyden) gebildete Schlacke ist im flüssigen Zustande als homogene Lösung verschiedener chemischer Verbindungen ineinander, insbesondere von Kalk- und Tonerdesilikaten aufzufassen.

Vorbereitung der eisenhaltigen Rohstoffe für die Verhüttung.

Die meisten Eisenerze können in dem Zustande, in dem sie durch den Bergbau gewonnen worden sind, unmittelbar im Hochofen verhüttet werden. In manchen Fällen bedürfen sie jedoch einer Vorbereitung. So werden z. B. die Spateisensteine (Eisenkarbonat FeCO_3) im Siegerlande und in Steiermark zum Teil vorher einer Röstung unterworfen, d. h. sie werden bei Luftzutritt erhitzt, wobei die Kohlensäure ausgetrieben, also das Karbonat in das Oxyd übergeführt wird. Hand in Hand hiermit geht eine Austreibung von Schwefel und Wasser. Durch das Rösten, das gleich an der Eisensteingrube in besonderen Röstöfen, einfachen Schachtöfen, vorgenommen wird, erlangt man insofern einen Vorteil, als das Gewicht des Erzes um etwa 30% vermindert wird, so daß die Transportkosten auf den Eisengehalt des Erzes be-

zogen außerordentlich verringert werden. Ferner braucht der Hochofen nun die Röftung nicht mehr vorzunehmen, und der Heizwert des Gichtgases wird durch Kohlensäure und Wasserdampf nicht verringert.

In gewissen Fällen bedürfen die Erze einer anderen Vorbereitung. Neben den grobstückigen Erzen werden den Hochofenwerken nämlich oft noch feinkörnige (mulmige) angeliefert, sei es, daß sie in dieser Form in der Natur vorgefunden werden, sei es, daß sie bei der bergmännischen Gewinnung und dem Transport aus den grobstückigen erst entstanden sind. Die feinkörnigen Erze üben, besonders wenn sie in größerer Menge (zu mehr als 12% der Beschickung) im Hochofen verhüttet werden, sehr schädliche Einflüsse aus. Zunächst rollen sie leicht durch die Zwischenräume zwischen den größeren Stücken hindurch und werden auf diese Weise zu frühzeitig geschmolzen. Die geschmolzenen Feinerze wirken dann leicht als Bindemittel zwischen den groben Stücken, d. h. sie bilden mit jenen eine zusammenhängende Masse, die im Hochofen nicht nachrücken kann und dadurch das sog. Hängenbleiben der Gichten verursacht. Ferner erschweren sie durch die Verengung der Zwischenräume zwischen den Erzen den Durchgang des Windes; schließlich werden sie von den mit großer Geschwindigkeit den Hochofen durcheilenden Gasen mitgerissen und aus dem Ofen als sog. Gichtstaub entführt. Der Gichtstaub muß aber auf umständliche Weise wieder aus den Gasen entfernt werden, weil er sie für gewisse Zwecke geradezu unbrauchbar macht. Alle diese Nachteile der Feinerze verlangen also eine Überführung in Stückform, ähnlich wie sie bei der feinen Braun- und Steinkohle vorgenommen wird. Hierzu gibt es zweierlei verschiedene Wege: das Brickettieren und das Agglomerieren. Bei ersterem erhält das Feinerz eine ganz bestimmte regelmäßige Form, bei letzterem dagegen wird es zu unregelmäßigen Klumpen gestaltet. Die Herstellung der Erzbriketts erfolgt in Pressen entweder lediglich durch Anwendung sehr hohen Drucks oder bei geringem Druck nach Vermengung des Erzes mit anorganischen oder organischen Bindemitteln, falls nicht ein natürliches Bindemittel, wie in den tonigen Erzen, schon von vornherein darin enthalten ist. Solche mit natürlichen oder künstlichen Bindemitteln innig gemischten und dann gepreßten Erz-

briketts muß man ähnlich wie die Siegelsteine nach der Pressung noch erhärten lassen. Das Agglomerieren erfolgt nach verschiedenen Verfahren. Gut bewährt haben sich u. a. lange, langsam um eine etwas schräg nach unten geneigte Achse umlaufende Trommeln, durch die, dem Wege des Erzes entgegengesetzt, heiße Brenngase streichen. In diesen „Drehrohröfen“ sintert das Feinerz, d. h. es ballt sich unter Einfluß der Trommeldrehbewegung und der heißen Gase zu mehr oder weniger großen Klumpen zusammen. Auch der aus den Hochofengasen abgeschiedene Gichtstaub wird oft mit Erfolg brikettiert und agglomeriert. Die Erz- bzw. Gichtstaubbriketts müssen neben großer Festigkeit, die ein Zerdrücken oder Zerreiben im Hochofen verhindert, auch eine gewisse Porosität haben, damit die Reduktionsgase im Hochofen leicht in ihr Inneres eindringen können. Ferner dürfen sie nicht Bindemittel enthalten, die den Hochofenprozeß ungünstig beeinflussen.

In einzelnen Fällen müssen die Erze vor ihrer Verwertung auf den Eisenwerken aufbereitet werden, d. h. von einem Teil der beigemengten Mineralien (Gangarten) auf mechanischem Wege befreit werden. Das geschieht entweder auf Grund des verschiedenen spezifischen Gewichts des Erzes und der Gangarten mit Hilfe eines auf- und niedergehenden und zugleich fließenden Wasserstromes oder auf Grund der verschiedenen Magnetisierbarkeit des Eisens und der übrigen Mineralien mit Hilfe eines Elektromagneten. Man unterscheidet danach zwischen nasser und zwischen magnetischer Aufbereitung.

Die Darstellung des technisch verwerteten Eisens.

Achtes Kapitel.

Allgemeines über die Darstellung.

Die Rohstoffe für die Darstellung aller technisch verwerteten Eisensorten sind, wie aus dem vorigen Kapitel hervorgeht, chemische Verbindungen des Eisens, und zwar vorwiegend Sauerstoffverbindungen (Oxyde). Die Hauptaufgabe der Eisenhüttenwerke ist also, das Eisenmetall aus diesen Sauerstoffverbindungen zu befreien und ihm durch Legieren mit verschiedenen Mengen

gewisser Elemente die jeweilig für die Weiterverarbeitung und endgültige Verwendung geeignete chemische Zusammensetzung zu geben. Die Überführung einer Metallsauerstoffverbindung in das Metall oder eine sauerstoffärmere Verbindung des Metalls heißt Reduktion. Das erste metallurgische Verfahren zur Darstellung des technisch verwerteten Eisens muß also ein Reduktionsprozeß sein.

Nach einem allgemein gültigen Gesetz der physikalischen Chemie müßten sich alle Metalloxyde lediglich durch Wärme in das betreffende Metall und Sauerstoff zerlegen, also reduzieren lassen. Tatsächlich können auch verschiedene Metalloxyde schon durch Erhitzen bei verhältnismäßig niedrigen Temperaturen vom Sauerstoff befreit werden, z. B. diejenigen des Goldes, Silbers, Quecksilbers. Für andere Oxide — und dazu gehören auch diejenigen des Eisens — kommt dagegen eine Reduktion durch Wärme allein nicht in Frage, weil die chemische Anziehungskraft (chemische Verwandtschaft, Affinität) zwischen den betreffenden Metallen und Sauerstoff auch bei höheren Temperaturen sehr groß ist und eine Zerlegung erst bei derartig hohen Temperaturen (mehreren tausend Grad) stattfinden könnte, bei denen sich das Verfahren wegen technischer Schwierigkeiten überhaupt nicht mehr durchführen ließe. Eine Befreiung dieser Metalle vom Sauerstoff läßt sich dagegen dadurch herbeiführen, daß man die Metalloxyde zusammen mit sog. Reduktionsmitteln erhitzt, das sind Stoffe, die unter gleichen Verhältnissen ein größeres Vereinerungsbestreben zum Sauerstoff haben wie das betreffende Metall selbst, daher den Sauerstoff der Oxide an sich reißen und das betreffende Metall zurücklassen. Derartiger Reduktionsmittel gibt es eine ganze Reihe; von ihnen kommen aber für die im Hochofen erfolgende Reduktion des Eisens nur der Kohlenstoff (C) und das aus ihm gebildete Kohlenoxydgas (CO) in Betracht, weil diese sehr kräftig wirken, verhältnismäßig billig zur Verfügung stehen und mit dem Erzsauerstoff keine Schlacken, sondern Gase bilden, die überhaupt den technisch und wirtschaftlich so vollkommenen Hochofenprozeß erst ermöglichen.

Beim Hochofenprozeß reduziert der Kohlenstoff nun aus den verwendeten Rohstoffen nicht nur das Eisen, sondern auch andere Elemente, wie Silizium, Phosphor, Mangan usw., in gewissen

Mengen. Diese sowie Schwefel und auch Kohlenstoff selbst lösen sich im reduzierten Eisen auf, so daß das entstehende Enderzeugnis ein „Roheisen“ mit 4—10% verschiedenen Legierungsbestandteilen ist. Diese verhältnismäßig großen Mengen an Fremdstoffen machen, wie wir bereits aus dem vierten Kapitel wissen, das Eisen für die meisten Verwendungszwecke ungeeignet. Um es den verschiedenen Zwecken anzupassen, muß also der Gehalt an Fremdstoffen heruntergedrückt werden. Dieses Ziel erreicht man durch Oxydation eines Teils der zu entfernenden Legierungsbestandteile des Roheisens. Die Oxydation wird dadurch herbeigeführt, daß man sauerstoffhaltige Stoffe, wie Luft, Gase, Eisenschlacken und Erze, auf das Roheisen bei höheren Temperaturen einwirken läßt. Hierbei vereinigt sich der Sauerstoff der betreffenden Oxydationsmittel mit den Legierungsbestandteilen zu Gasen oder Schlacken, und ein Eisen mit geringen Mengen an Fremdstoffen, also ein schmiedbares Eisen, ist das Enderzeugnis. Die gegenwärtig gebräuchlichen Verfahren zur Entfernung eines Teils der Legierungsbestandteile aus dem Roheisen, also zur Umwandlung von Roheisen in schmiedbares Eisen, sog. Frischverfahren, sind das Thomas- und Bessemerverfahren, sowie das Siemens-Martin-Verfahren, in geringerem Umfange auch das alte Puddelverfahren und das Glühfrisch- oder Temperverfahren. Durch die drei zuerst genannten Verfahren erhält man aus Roheisen das nahezu schlackenfreie Flußeisen in flüssigem Zustande, durch das Puddelverfahren das schlackenhaltige Schweißisen in halbgeschmolzenem Zustande und durch das Glühfrischen den sog. schmiedbaren Guß oder Temperstahlguß im festen Zustande. Zur Erzeugung sehr hochwertigen Flußeisens dienen in Ergänzung der genannten Frischverfahren das Tiegelstahl- und das Elektrostahlverfahren.

Diese Art der Darstellung des technisch verwerteten Eisens, die schon ziemlich umständlich erscheint, wird noch verwickelter durch die zu den Frischverfahren notwendigerweise hinzukommenden Desoxydations- und Kohlungsarbeiten. Trotzdem kann man gegenwärtig auf keine einfachere Art mit einem in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht gleich günstigen Ergebnis das Eisen darstellen.

Neuntes Kapitel.

Die Darstellung des Roheisens.

Die Darstellung des Roheisens erfolgt in einem Hochofen (vgl. die Beschreibung auf S. 69). Der Hochofenprozeß hat im wesentlichen folgenden Verlauf: Eisenerze und Zuschläge werden abwechselnd mit einem Brennstoff (Koks, Holzkohle, Anthrazit usw.) oben in den Hochofen (s. Abb. 3) gefüllt, während unten in den Ofen erhitzte Luft, der Wind, geblasen wird. Durch diesen verbrennt der Brennstoff zu Kohlenoxydgas, das in dem Ofen hochsteigt, während Erze, Zuschläge und Brennstoffe dem Gasstrom entgegen abwärts sinken. Beim Herabsinken wird dem Erz durch Kohlenoxyd und festen Kohlenstoff der Sauerstoff entzogen, es wird also zu metallischem Eisen reduziert, das vorwiegend in der tiefsten heißesten Zone des Ofens schmilzt und dabei Kohlenstoff und andere den Rohstoffen entstammende Elemente, wie Silizium, Mangan, Phosphor, Schwefel, in sich auflöst. Das flüssige, an Fremdstoffen reiche Eisen, Roheisen genannt, sammelt sich im untersten Teile des Ofens an und wird in gewissen Zeitabständen daraus abgezogen (abgestochen), während die gleichzeitig niedergeschmolzene Schlacke, welche wegen ihres geringeren spezifischen Gewichts auf dem flüssigen Eisen schwimmt, durch eine etwas höher gelegene Öffnung in ununterbrochenem Strom abfließt. Die entstehenden sehr wertvollen Gase, die Gichtgase, werden am oberen Teil des Ofens abgefangen, um zu den verschiedensten Zwecken verwendet zu werden.

Zur Darstellung des Roheisens werden also dem Hochofen Erze, Zuschläge, Brennstoffe von oben und Wind von unten zugeführt, während Roheisen und Schlacke unten und Gichtgase oben gewonnen werden. Die Vorbereitung der Erze, Zuschläge und Brennstoffe für den Hochofenprozeß ist bereits in den vorhergehenden Kapiteln beschrieben worden. Es ist hier also noch die Vorbereitung der Luft zu erörtern. Dann soll als Mittelpunkt des Interesses in diesem Kapitel eine kurze Beschreibung des Hochofens und des Hochofenprozesses selbst folgen, und zum Schluß werden die Hochofenerzeugnisse Roheisen, Schlacke und Gichtgas sowie ihre Verwendungszwecke besprochen werden.

Die Vorbereitung der Luft für den Hochofenprozeß. Die Luft ist bekanntlich ein Gasgemisch, das in trockenem Zustande aus etwa 79% Stickstoff und 21% Sauerstoff (in Raumteilen) besteht. Die sonstigen Bestandteile kommen nur in ganz geringer Menge vor und sind daher ziemlich bedeutungslos für den Hochofenprozeß. In natürlichem Zustande enthält die Luft stets noch Wasserdampf, und zwar desto mehr, je wärmer sie ist. Auf 1 cbm Luft (etwa 1,3 kg) kommen, wenn sie mit Wasserdampf gesättigt ist, bei -10° etwa 3 g, bei $+15^{\circ}$ etwa 13 g und bei $+30^{\circ}$ sogar 29 g Wasserdampf.

Während der Sauerstoff der Luft im Hochofen wichtige Reaktionen, insbesondere den Verbrennungsvorgang bewirkt, geht der Stickstoff durch den ganzen Hochofen größtenteils unverändert hindurch. Er nimmt im wesentlichen nur an der Erwärmung teil, gibt aber die aufgenommene Wärme ebenso wie die übrigen im Hochofen hochsteigenden Gase wieder an die entgegenrückende Beschickung ab; er wirkt also nicht so nachteilig auf den Hochofenprozeß, wie man wohl vermuten könnte. Schädlich dagegen ist der Einfluß des Wasserdampfs im Hochofen. Er erfordert erhöhten Aufwand an Brennstoff und bewirkt wegen der sehr verschiedenen Mengen, in denen er in der Luft enthalten sein kann, Unregelmäßigkeiten im Ofengang.

Während die Luft, die z. B. den Verbrennungsprozeß in einem Zimmerofen unterhalten soll, einfach durch die gegenüber der Außenluft wärmere und daher spezifisch leichtere, im Schornstein hochsteigende Luftsäule in den Ofen hineingezogen wird, muß die Luftmenge, die den über 20 m hohen, mit Stoffen dicht gefüllten Hochofen durchziehen soll und hierbei naturgemäß großen Widerstand findet, durch diesen hindurchgepreßt werden. Diese Arbeit geschieht durch die Gebläsemaschinen, die im Grunde nichts anderes sind als mächtige doppelwirkende Luftpumpen mit großen, an beiden Enden mit zahlreichen Ventilen versehenen, eisernen Zylindern. In diesen bewegt sich ein Kolben hin und her, der bei seinem Hingange auf der einen Seite durch die Ventile Luft in den Zylinder saugt und gleichzeitig die beim vorhergehenden Hube auf der anderen Seite eingesogene Luft zusammenpreßt und in die zum Hochofen führende Rohrleitung drückt. Beim Rückgang findet der entsprechende Vorgang statt, so daß der Luftstrom ununterbrochen läuft. Man verwendet fast ausschließlich Gebläse mit liegenden Zylindern, die

durch Dampf- oder Gichtgasmaschinen angetrieben werden. Was den Winddruck anbelangt, so steigt dieser bei deutschen Hochöfen selten über 0,4 at. Die Windmenge, die ein neuzeitlicher großer Hochofen täglich verbraucht, ist ungeheuer. Man kann auf 1 t erzeugten Roheisens durchschnittlich rund 3000 cbm Wind rechnen; das wären für einen großen Hochofen mit 500 t Tageserzeugung in 24 Stunden 1 500 000 cbm Luft mit einem Gewicht von 1950 t, also dem vierfachen Gewicht des zur gleichen Zeit erzeugten Roheisens.

Die Vorbereitung der Luft für den Hochofenprozeß beruht nun in erster Linie auf einer Vorwärmung. Vereinzelt hat man neuerdings auch Vorkehrungen zur Trocknung der Luft getroffen. Durch die Vorwärmung des Windes, die mit Hilfe eines Teils der brennbaren, dem Hochofen entströmenden Gichtgase vorgenommen wird, erzielt man eine große Ersparnis an Brennstoff im Hochofen und andere den Hochofengang günstig beeinflussende Vorteile. Die Vorwärmung des Windes auf Temperaturen von 600—800° C erfolgt in den sog. Winderhitzern. Einen fast auf allen Eisenhüttenwerken gebräuchlichen Winderhitzer, einen Cowper-Apparat, stellen die Abbildungen 1 und 2 im Vertikal- und Horizontalschnitt dar. Der Apparat ist ein aus starken Eisenblechen zusammengesetzter Zylinder mit einem Durchmesser bis zu 6, ja sogar 8 m und mit einer Höhe bis zu 35 m: Er besteht aus dem kreisrunden oder elliptischen Verbrennungsschacht, einer Kuppel und dem Gitterwerk. Die Ausmauerung sowohl als auch das Gitterwerk sind aus feuerfesten Steinen aufgebaut.

Das vom Gichtstaub befreite Hochofengas läßt man in die Öffnung a (Abb. 1) einströmen, vor der es sich mit der durch den geöffneten Schieber b eindringenden Luft mischt, um im Schachte zu verbrennen. In der Kuppel breitet sich das heiße Verbrennungsgas aus und streicht abwärts durch das Gitterwerk; dieses erhitzt es auf 800—900° und geht, nachdem es seine Wärme an die Steine abgegeben hat, durch die Rauchkammer und die Öffnung c zum Schornstein. Nach einer gewissen Zeit, etwa zwei Stunden, werden Gasventil, Luftschieber und die Klappe zum Schornsteinkanal geschlossen und der Kaltwind- und Heißwind-schieber geöffnet. Nun strömt der gepreßte kalte Gebläsewind bei d ein, erhitzt sich beim Hochsteigen im Gitterwerk an den



Abb. 1. Cowper-Winderhitzer (Vertikalschnitt).

heißen Steinen auf 600—800° und mehr und verläßt den Cowper-Apparat bei der Öffnung e, um durch große Rohre in den Hochofen geleitet zu werden. Ein Hochofen muß mindestens drei, besser vier oder mehr Winderhitzer besitzen; sind vier vorhanden, so gehen, wie der technische Ausdruck heißt, zwei auf Gas, während der dritte „auf Wind geht“ und der vierte gereinigt wird oder zur Reserve dient. Die Winderhitzer werden von dem ein Hüttenwerk besichtigenden Laien irrtümlicherweise oft für Hochofen gehalten, weil der zugehörige Hochofen meist durch das ihn umgebende Eisengerüst, die Sördereinrichtungen, Gasreinigungsanlagen, Rohrleitungen u. dgl. derart verdeckt ist, daß er dem Beschauer nicht so deutlich in die Augen fällt wie die in größerer Zahl vorhandenen, frei stehenden, hohen Winderhitzer.

Falls eine Vorbereitung der Luft durch Trocknung erfolgen soll, so muß dies noch vor der Erhitzung geschehen. Bei dem Gaylenschen Trocknungsverfahren wird die Luft auf bestimmte Temperaturen unter 0° abgekühlt, bei denen sie nur noch einen geringen, stets gleichmäßigen Gehalt an Wasserdampf aufgelöst halten kann

(S. 66), während der größere Teil als Eis abgetrennt wird. Bei dem Verfahren von Daubiné und Roy wird der Wind durch Chlorkalzium geleitet, das begierig Wasser aufsaugt und schon lange im Laboratorium als Trockenmittel verwendet wird. Die beiden Windtrocknungsverfahren sind bisher erst vereinzelt praktisch erprobt und bedürfen noch weiterer technischer Vervollkommnung, um bei günstigen wirtschaftlichen Ergebnissen allseitige Anwendung finden zu können.



Abb. 2. Comper-Winderhitzer
(Horizontalquerschnitt).

Der Hochofen. Der Hochofen zeichnet sich, wie sein Name schon andeutet, gegenüber anderen metallurgischen Öfen durch eine bedeutende Höhe aus (bis zu 30 m und darüber ohne das zugehörige Eisengerüst). Er gehört zu jener Gattung von Öfen, die wegen ihres schachtähnlichen Profils kurzweg Schachtöfen genannt werden. Während die meisten Metallhochofen das Profil eines regulären mathematischen Zylinders aufweisen, haben die Eisenhochofen für gewöhnlich ein Profil, wie es Abb. 3 veranschaulicht. Man ersieht daraus, daß der eigentliche Hochofen aus drei Teilen besteht, dem Schacht a, der Rast b und dem Gestell c. Schacht und Rast bilden zwei abgestumpfte Kegel, die mit ihren größten Grundflächen aufeinander gesetzt sind; das sich unten anschließende Gestell ist ein Zylinder. Der Teil, welcher den oberen Abschluß des Hochofens bildet, heißt Gicht, die Ebene, in der Schacht und Rast zusammenstoßen, Kohlensack. Der Kohlensack ist bei vielen Hochofen zu einem dem Gestell ähnlichen Zylinder ausgebildet. Der unterste Teil des Ofens, auf dem das Gestell ruht, wird Bodenstein (d) genannt. Der Schacht ruht meist auf einem Tragkranz, der von eisernen Säulen gestützt wird. Die Rast hängt für gewöhnlich am Tragkranz. Auf diese Weise sind Rast und Gestell vom Schacht und untereinander unabhängig. Man erreicht hierdurch eine vollständige Entlastung dieser Teile, so daß sie sich beliebig unter dem Einfluß der Wärme ausdehnen können, ohne einander in Mitleidenschaft zu ziehen. In seinem oberen Teile enthält das Gestell eine Anzahl von Öffnungen, durch welche die Windformen (e) in den Ofen führen. Die Windformen bestehen aus kegelförmigen,

doppelwandigen Hülßen aus Bronze oder Kupfer, die wegen der hohen Temperaturen im Gestell von ständig hindurchströmendem kaltem Wasser gekühlt werden. Der heiße gepreßte Wind gelangt aus den Winderhitzern zunächst in ein großes mit feuerfestem Material ausgemauertes Rohr (o), das rings um den Ofen läuft. Von hier aus wird er mittels des sog. Düsenstoßs (i), der in den einzelnen Düsen endigt, auf die Formen gleichmäßig verteilt und tritt dann durch letztere in den Ofen. Die Anzahl der Formen richtet sich im allgemeinen nach der Größe des Gestellumfangs und schwankt zwischen 4 und 16, selten mehr. Dicht unterhalb der Formenebene befinden sich eine oder mehrere Öffnungen (g) im Gestell, die dazu dienen, die Schlacke ununterbrochen abfließen zu lassen. Diese Öffnungen sind, um das Mauerwerk vor der glutflüssigen Schlacke zu schützen, stets mit der sog. Lürmannschen Schlackenform ausgefüllt, einer den Windformen ähnlichen, mit Wasser gekühlten kupfernen Hülße. Unmittelbar über dem Bodenstein ist das Abstichloch (f) angebracht, durch welches das sich im Gestell ansammelnde Eisen von Zeit zu Zeit abgestochen wird.

Der ganze Hochofen ist aus feuerfesten Steinen aufgebaut und wird durch starke rings um den Ofen laufende schmiedeeiserne Ringe zusammengehalten. Um das Ofenmauerwerk gegen physikalische und chemische Einflüsse möglichst widerstandsfähig zu machen, muß es ständig gekühlt werden. Der oberste Teil des Ofenschachtes, in dem man nicht allzu hohe Temperaturen beobachtet, wird einfach durch die Außenluft gekühlt. Der untere Teil des Schachtes, Raß und Gestell hingegen, wo teilweise sehr hohe Temperaturen herrschen, müssen mit großen Mengen kalten Wassers gekühlt werden, das man an einem um diese Teile gelegten Blechmantel ununterbrochen herabrieseln oder durch bronzene, in die Ofenwandungen eingelassene Kühlkästen fließen läßt.

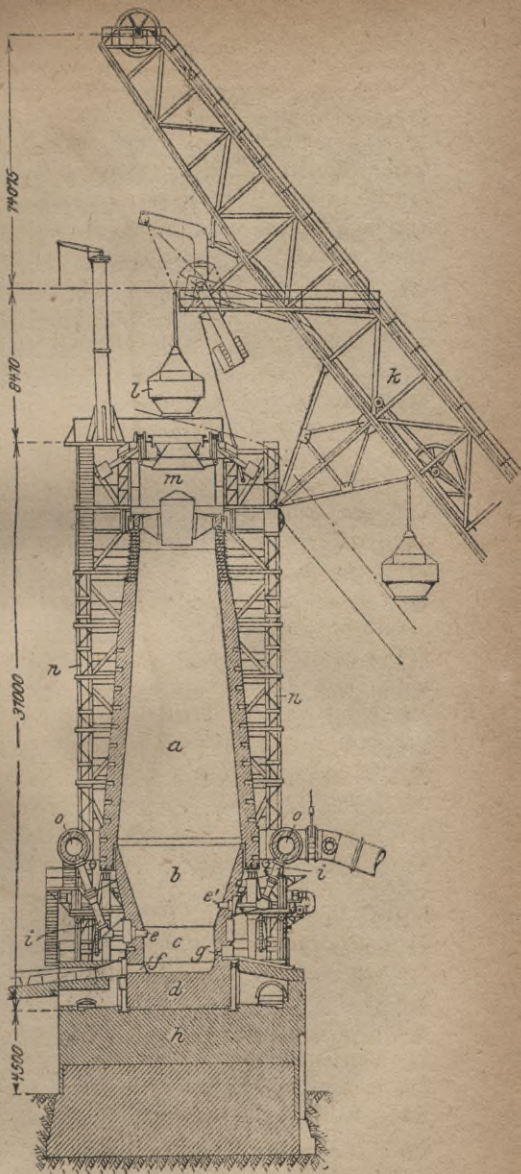
Die beim Hochofenprozeß sich bildenden Gase, welche man früher aus Unkenntnis mit mächtiger Flamme aus der Gicht in die Luft gehen ließ, fängt man heutzutage auf, um sie in wirtschaftlicher Weise zu verwerten. Zu diesem Zwecke ist der Hochofen oben durch einen sog. Gichtverschluß abgedeckt; die Gase ziehen dann durch ein senkrecht in der Mitte des Verschlusses

Hochofen

stehendes Rohr ab oder durch Rohre, die seitlich in den obersten Teilen des Schachtmauerwerks angebracht sind. Da auf der Gicht die Beschickung in den Ofen gegeben wird, müssen die Gichtverschlüsse gleichzeitig als Aufgabee- und Verteilungsvorrichtungen für die Rohstoffe eingerichtet werden. Als solche dürfen sie die Gase auch dann nicht an die Außenluft entweichen lassen, wenn die Rohstoffe gerade in den Ofen eingebracht werden. Daher sind die Gichtverschlüsse stets als eine Art Schleuse ausgebaut, die durch einen oberen Gichtverschluß gegen die Außenluft und durch einen unteren gegen das Ofeninnere abgedichtet ist. Wenn der eine Verschluß zur Einführung der Rohstoffe geöffnet ist, muß

Abb. 3. Hochofen (Vertikalschnitt).

a Schacht, *b* Raft, *c* Gestell, *d* Bodenstein, *e* Windeintritt (Düsen und Form), *e'* Notwindform (nur bei Betriebsstörungen in Verwendung), *f* Stichoß (Rohsenabstich), *g* Schlackenform (Schlackenausfluß), *h* Fundamentmauerwerk, *i* Düsenstod, *k* Gichtaufzug (Schrägaufzug), *l* Förderlübel mit Beschickung, *m* Gichtverschluß, *n* Hochfengerüst, *o* Windleitung (Windfranz).



der andere gleichzeitig geschlossen sein. Es gibt zahlreiche verschiedene Ausführungen von doppelten Gichtverschlüssen. Bei dem in Abb. 3 Seite 71 dargestellten Hochofen, der mit der sog. automatischen Kübelbegichtung versehen ist, besteht der Gichtverschluß aus einem freisförmigen Trichter, gegen den von unten durch Gewichte mittels Hebelübertragung ein kegelförmiger Verschluß gedrückt wird. Setzt sich der Kübel nun auf die Gicht, so senkt sich der lose Kübelboden, die im Kübel befindlichen Rohstoffe drücken den Kegel herunter und gleiten in den Ofen herab. Nennenswerte Gasverluste können dabei nicht entstehen, weil der Kübel durch einen Deckel verschlossen ist. Das unterhalb des Gichtverschlusses inmitten des Hochofens sichtbare Rohr sorgt für eine gleichmäßige Verteilung der Stoffe im Ofeninnern.

Um die ungeheuren Massen an Rohstoffen, die ein neuzeitlicher Ofen täglich verschluckt, zur Gicht zu schaffen, sind mächtige Transportanlagen notwendig. Bei älteren Anlagen benutzt man oft noch senkrechte, durch Dampfmaschinen angetriebene Aufzüge, welche die Beschickung in kleinen Wagen bis zur Gichtbühne — d. i. die Plattform in Höhe der Gicht — emporziehen. Hier werden diese Wagen dann von einzelnen Leuten vom Aufzug heruntergezogen, an den Gichttrichter gefahren und dann durch Kippen ihres Inhaltes entleert. Bei neueren Anlagen werden die Wagen oft als Hängewagen an Schrägaufzügen mittels eines stetig laufenden Zugseiles hochgezogen und auf der Gichtbühne ebenfalls durch Zugseil zum Gichtverschluß gebracht oder die Beförderung der Hängewagen erfolgt durch Elektromotoren an jedem einzelnen Wagen (Elektrohängebahn). Auch die Entleerung in den Trichter des Gichtverschlusses geschieht oft auf mechanischem Wege.

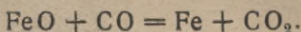
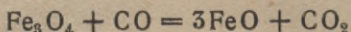
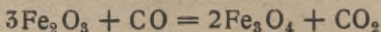
Will man das gesamte Bedienungspersonal auf der Gichtbühne ersparen, so macht man, wie bei dem Hochofen in Abb. 3, vorteilhaft von der erwähnten automatischen Begichtung Gebrauch, bei der die in der Abbildung sichtbaren großen Kübel mit einem Erzinhalt bis zu 10 t und darüber unten auf der Hüttensohle gefüllt, durch eine untenstehende elektrische Fördermaschine an Schrägaufzügen bis über den Gichttrichter gehoben und dann in diesen durch Kippen oder Öffnen des Kübelbodens entleert werden. Die ganze Begichtung geschieht hierbei durch den einen

die Fördermaschine bedienenden Maschinisten. In Abb. 3 ist nur der obere Teil des Schrägaufzugs mit den daran hängenden Kübeln zu sehen.

Der Hochofenprozeß. Beim Hochofenprozeß können wir einen absteigenden Strom fester und einen aufsteigenden Strom gasförmiger Stoffe im Ofen unterscheiden. An dem absteigenden Ströme fester Stoffe sind die Erze und sonstigen eisenhaltigen Rohstoffe, ferner die Zuschläge und der Brennstoff beteiligt, die sämtlich durch den Sichtverschluß vermittels der oben erwähnten Transportvorrichtungen dem Hochofen zugeführt werden. Das Erz nebst Zuschlägen, der Möller, wird abwechselnd mit dem Brennstoff in den Hochofen gegeben. Die auf einmal in den Ofen gefüllte Menge an Erz und Zuschlägen nennt man eine Erzgicht, während die darauf folgende Brennstoffmenge, sofern es sich um Koks handelt, eine Kockgicht genannt wird. Bei großen Öfen beträgt eine Erzgicht bis zu 15 000 kg, eine Kockgicht bis zu 7 000 kg. Das Mengenverhältnis zwischen Erz, Zuschlag und Koks wird an der Hand theoretischer Berechnungen und auf Grund praktischer Erfahrungen festgestellt. In dem Maße, wie in den untersten Zonen des Ofens der Möller schmilzt und der Koks verbrennt, rückt die gesamte Beschickung von obenher nach und unterliegt hierbei den im folgenden beschriebenen Einwirkungen der aufsteigenden Gase, die desto heißer sind, je tiefer die Ofenzone ist.

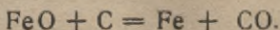
Im obersten, kältesten Teile des Ofenschachtes wird bei Temperaturen der Gase von etwa 250—400° der Feuchtigkeitsgehalt der Rohstoffe, vor allem der Erze verdampft. Sodann setzt bald der Hauptvorgang im Hochofen, die Reduktion der Eisenerze, ein, und zwar zunächst innerhalb des Schachtes und der oberen Raft die indirekte Reduktion durch Kohlenoxydgas und dann in den heißesten Teilen des Ofens, nämlich der unteren Raft und dem Gestell, die direkte Reduktion durch den glühenden festen Kohlenstoff. Die indirekte Reduktion, die unter Umständen schon weit oben im Schacht bei Temperaturen von 300° an beginnt, nimmt mit dem Herabsinken in tiefere Zonen und damit in Bereiche immer höherer Temperaturen ständig an Umfang und Stärke zu, schon weil der Gasstrom nach unten zu immer reicher an Kohlenoxyd wird. Die Reduktion der

Erze durch Kohlenoxydgas geht nicht etwa in der Weise vor sich, daß alle Erze unmittelbar in metallisches Eisen übergeführt werden, vielmehr wird das sauerstoffreichste Oxyd (Fe_2O_3) zuerst in das sauerstoffärmere Oxydoxydul (Fe_3O_4), dieses in Oxydul (FeO) und das Oxydul endlich in metallisches Eisen (Fe) verwandelt, etwa nach den Gleichungen:



Im übrigen verhalten sich die Erze und sonstigen eisenhaltigen Rohstoffe gegenüber der indirekten Reduktion sehr verschieden. Einige, wie z. B. stückige Brauneisenerze, gerösteter Spateisenstein und Kiesabbrände, werden in der bei weitem größten Menge durch Kohlenoxyd reduziert, andere, wie geröstete Magneteisenerze, mulmige, d. h. feinkörnige Brauneisenerze, ungeröstete Spate, etwa nur zur Hälfte, ungeröstete Magneteisenerze, Puddel- und Schweißschlacken so gut wie gar nicht.

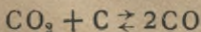
Soweit diese Rohstoffe nicht durch die indirekte Reduktion in metallisches Eisen übergeführt werden können, muß die direkte Reduktion durch Kohlenstoff diese Aufgabe in der unteren Raft und im Gestell übernehmen. Hierbei wird weit mehr Brennstoff verbraucht, man wird daher darauf bedacht sein, die indirekte Reduktion nach Möglichkeit zu fördern. Im Gegensatz zu der letzteren bildet sich bei der direkten Reduktion in der unteren Raft und im Gestell nicht Kohlenensäure, sondern Kohlenoxyd, z. B. nach der Gleichung:



Hand in Hand mit der Reduktion, und zwar vorwiegend der indirekten, nämlich bei Temperaturen zwischen 700 und 900°, geht die Austreibung der Kohlenensäure aus den ungerösteten Spateisensteinen sowie den Kalksteinen und Dolomiten vor sich. Auch die Kohlunng des reduzierten Eisens erfolgt schon zum großen Teil in den Zonen der indirekten Reduktion, bereits von etwa 600° an aufwärts. Durch die Auflösung des Kohlenstoffs im Eisen wird,

wie aus dem vierten Kapitel hervorgeht, der Schmelzpunkt des Metalls so weit heruntergedrückt, daß es bei Temperaturen zwischen 1100 und 1200°, also in der unteren Kaste und im Gestell schmilzt, wo Temperaturen bis zu 1600° herrschen. Hier wird gleichzeitig auch die inzwischen entstandene Schlacke geschmolzen. Eisen und Schlacke sammeln sich im unteren Teile des Gestells an, und zwar die Schlacke infolge ihres geringeren spezifischen Gewichts über dem Eisen. Zwischen den Bestandteilen der beiden flüssigen Stoffe finden übrigens auch noch die verschiedensten Reaktionen statt.

Waren im vorhergehenden die Veränderungen beschrieben worden, welche die im Hochofen abwärts sinkenden festen Stoffe durchmachen, so sollen im folgenden die Umwandlungen der im Hochofen aufwärts steigenden Gase kurz besprochen werden. Die in den Winderhitzern vorgewärmte Luft stößt vor den Düsen der Formen, also innerhalb der Formenebene des Gestells, unmittelbar auf den glühenden Koks. Dabei verbrennt der Koks, d. h. der Kohlenstoff desselben verbindet sich mit dem Sauerstoff der Luft unter Entwicklung großer Wärmemengen und hoher Temperaturen zu Kohlenoxyd (CO). Eine vollkommene Verbrennung zu der höheren Oxydationsstufe Kohlendioxyd oder Kohlen-säure (CO₂) kann nicht stattfinden, weil Kohlen-säure bei den im Gestell herrschenden hohen Temperaturen nicht zu bestehen vermag; sie würde nach der umkehrbaren Gleichung



durch den reichlich vorhandenen Koks-kohlenstoff (C) wieder in Kohlenoxyd (CO) zurückverwandelt werden. Aus dem gleichen Grunde kann auch im Gestell keine indirekte Reduktion durch Kohlenoxyd unter Bildung von Kohlen-säure stattfinden, sondern nur eine direkte durch Kohlenstoff unter Bildung von Kohlenoxyd (s. die Reduktionsgleichung S. 74). Das hoch erhitzte Kohlenoxydgas, welches einerseits durch unvollkommene Verbrennung des Kohlenstoffs (Koks), andererseits durch direkte Reduktion der Eisensauerstoffverbindungen vornehmlich im Gestell des Hochofens entstanden ist, steigt neben dem Luftstickstoff, der übrigens während des Prozesses nur zum allergeringsten Teil an chemischen Reaktionen teilnimmt, im Ofen hoch und gibt ebenso wie der

Stickstoff und sonstige Gase die mitgeführte Wärme an die entgegenrückende Beschickung ab, erleidet also während des Hochsteigens einen starken Temperaturabfall. Gleichzeitig wirkt das Kohlenoxydgas stark reduzierend auf die verschiedenen Eisenoxyde ein (vgl. die Reduktionsgleichungen S. 74), so daß der Gasstrom, je höher er steigt, sich desto mehr an Kohlensäure anreichert. Diese Kohlensäure wird noch vermehrt durch diejenige, welche aus den Karbonaten, also den ungerösteten Spateisensteinen, den Kalken und Dolomiten, austritt. Die Anreicherung des aufsteigenden Gasstromes an Kohlensäure ist übrigens nicht allein eine Folge der Reduktionsvorgänge und der Zersetzung der kohlen-sauren Verbindungen; die Erscheinung würde vielmehr auch ohne dies zu beobachten sein, weil die oben bereits angeführte umkehrbare Gleichung $\text{CO}_2 + \text{C} \rightleftharpoons 2\text{CO}$ mit sinkenden Temperaturen in immer stärkerem Maße in der Richtung von rechts nach links verläuft, mit anderen Worten: das Kohlenoxyd spaltet sich in immer größerem Umfange in Kohlensäure und festen Kohlenstoff, je geringer die Temperatur ist. Der auf diese Weise entstandene Kohlenstoff lagert sich in seiner Verteilung auf den Oberflächen und in den Poren der Erze u. dgl. ab und trägt in diesem Zustande in den tieferen Zonen des Ofens in hohem Maße zur direkten Reduktion bei. Trotz der ständigen Zunahme des Kohlensäure- und Abnahme des Kohlenoxydgehalts im Gasstrom muß oben aus der Gicht doch stets noch eine sehr beträchtliche Menge von Kohlenoxyd aus dem Ofen entweichen, weil auch die Reduktionsgleichungen des Eisens umkehrbar sind, also z. B. $\text{FeO} + \text{CO} \rightleftharpoons \text{Fe} + \text{CO}_2$. Würde also ein zu hoher Gehalt an Kohlensäure und dementsprechend ein zu geringer an Kohlenoxyd im Gasstrom sein, so würde die Gleichung nicht von links nach rechts verlaufen, sondern umgekehrt, d. h. also, das Eisenoxydul würde nicht durch Kohlenoxyd zu Eisen unter Bildung von Kohlensäure reduziert werden, sondern die Kohlensäure würde das Eisen unter Bildung von Kohlenoxyd zu Eisenoxydul oxydieren. Früher, als man das wichtige Gesetz der physikalischen Chemie über die Umkehrbarkeit der chemischen Reaktionen und das chemische Gleichgewicht noch nicht kannte, glaubte man, das aus dem Ofen abziehende wertvolle Kohlenoxyd zur Reduktion ganz auszunützen zu müssen, und stellte zu

diesem Zwecke die kostspieligsten Versuche an (z. B. Erhöhung der Öfen). Heute weiß man, daß alle derartigen Versuche vergeblich sein müssen, und findet sich daher damit ab, das nicht zur Reduktion ausgenutzte Kohlenoxyd außerhalb des Hochofens zu den verschiedensten Zwecken zu verwerten.

Bedeutend schwerer als das Eisen werden Mangan, Phosphor und Silizium aus ihren Oxyden reduziert. Bei diesen erfolgt die Reduktion und Überführung in das Eisenmetall in der Hauptsache erst dann, wenn der letzte Rest des Eisens durch den festen Koksstoff reduziert ist, also erst bei den hohen Temperaturen im unteren Teil der Rast und im Gestell. Vom Mangan werden nur drei Viertel des Gehalts in den Erzen reduziert, während der Phosphor ganz und das Silizium je nach der Zusammensetzung des Möllers und der aufgegebenen Koks menge meist nur in verhältnismäßig geringen Mengen reduziert wird. Der so gefährliche Schwefel wird zum Teil an den Kalk und das Mangan der Schlacke gebunden, so daß man meist dem Erze mehr Kalk zuschlägt, als dem niedrigsten Schmelzpunkt der Schlacke entsprechen würde. Trotzdem löst sich ein Teil des Schwefels immer noch als Schwefeleisen im Roheisen auf. Kupfer geht ganz ins Eisen, Blei sammelt sich wegen seines größeren spezifischen Gewichts und seiner Unlöslichkeit im Eisen unter demselben im Gestell an. Zink verdampft und bildet dann als Oxyd an den Ofenwänden unterhalb der Gicht den sog. Zinkschwamm.

Sein Hauptaugenmerk muß der Hochofenleiter darauf richten, daß der Hochofengang keine störenden Unregelmäßigkeiten aufweist. Solche sind wegen der langen Durchsetzzeit¹⁾ der Beschickung oft erst an dem veränderten Aussehen der Schlacke spät nach ihrer Entstehung bemerkbar und sind dann nicht so schnell zu beseitigen. Betriebsstörungen können durch verschiedene Ursachen hervorgerufen werden. Zu schwere Erzsätze (zu viel Erz im Verhältnis zu Zuschlag und Koks), falsche Möllering, zu schnelles oder ungleichmäßiges Aufgeben der Gichten, Durchbruch von Kühlwasser, schlechte Beschaffenheit des Brennstoffs

1) Unter Durchsetzzeit versteht man diejenige Zeit, die die Beschickung zu ihrer Reise durch den Hochofen gebraucht, sie schwankt zwischen 9 und 30 Stunden, im Durchschnitt beträgt sie 22 Stunden.

oder Erzes (Seinerz und damit verbundenes Hängenbleiben der Gichten) u. dgl. können dazu beitragen. Man erhält dann leicht statt einer hellfarbigen Schlacke eine dunkle, aus der noch nicht alles Eisen reduziert ist; man spricht dann von einem Rohgang des Hochofens im Gegensatz zum regelmäßigen Gargang. Um jenen äußerst unangenehmen Krankheitszustand des Hochofens zu beseitigen, ist es meist angebracht, ihm leichtere Kost zu geben, d. h. den Erzsatz zu verringern; auch tut ihm in solchem Falle oft größere Wärme gut, die durch Erhöhung des Koksatzes und der Windtemperatur erzielt werden kann. Auch sonstige Vorgänge, wie Durchbruch des Eisens durch das Gestell, Explosionen im Ofeninnern u. dgl., können oft erhebliche Nachteile im Gefolge haben.

Hat sich genügend Eisen und Schlacke im Gestell angesammelt, so fließt die Schlacke aus der Schlackenöffnung ununterbrochen so lange heraus, bis das Eisen die Höhe derselben erreicht hat, dann wird das Eisen abgestochen, d. h. man öffnet mit großen eisernen Stangen das unten im Gestell befindliche Abstichloch, das durch eine feuerfeste Masse verschlossen war. Nun rinnt das Eisen im glühenden Strome aus dem Hochofen heraus. Will man es gleich im flüssigen Zustande auf schmiedbares Eisen weiterverarbeiten, so wird es unmittelbar in große fahrbare Pfannen geleitet und in diesen zum Stahlwerk gebracht, andernfalls läßt man es in die sog. Masselbetten laufen, das sind vielverzweigte, in Sand gegrabene flache Vertiefungen, in denen es zu Barren von gleichen Abmessungen, den sog. Masseln, erstarrt.

Roheisendarstellung im elektrischen Hochofen. Die Darstellung des Roheisens im elektrischen Hochofen ist im größeren Maßstabe naturgemäß nur in solchen eisenreichen Gegenden durchzuführen, wo elektrische Energie durch Wasserkräfte billig zu erzeugen und guter Hochofenkoks zu angemessenen Preisen nicht zu erlangen ist. In kleinerem Maßstabe würde sich das Verfahren nach weiterer Dervollkommnung vielleicht auch sonst zur Darstellung von Spezialroheisensorten halten können, von denen eine besonders große Reinheit verlangt wird. Bisher hat man in Schweden (Domnarfvet, am Trollhütten und in Odda) mit elektrischen Hochofen, die naturgemäß jetzt noch im Anfangsstadium eine bedeutend geringere Höhe

als unsere Kokshochöfen haben, recht günstige Betriebsergebnisse erzielt.

Der knappe Raum verbietet, hier näher auf die elektrische Roheisengewinnung einzugehen; nur einige Bemerkungen seien dazu noch gemacht. Während beim Kokshochofen die zur Reduktion und Schmelzung nötige Wärmemenge durch chemische Umsetzung (Verbrennung) entsteht, wird beim elektrischen Hochofen diese Wärme durch die auf S. 111 erwähnte elektrische Lichtbogenheizung erzeugt. Bei der elektrischen Roheisendarstellung fällt also der Koks zur Wärmeerzeugung fort, das wären etwa $\frac{2}{3}$ der gesamten im Kokshochofen erforderlichen Koks menge, und es ist nur noch $\frac{1}{3}$ zur Reduktion notwendig. Durch den hier fortfallenden Verbrennungsprozeß kann man die sonst in großem Umfange erforderliche Luftzufuhr ersparen, die kostspieligen Gebläse und Winderhitzungsanlagen sind somit überflüssig.

Die Erzeugnisse des Hochofenprozesses und ihre Verwendung.

Das Roheisen. Von jeder Roheisengattung wird eine bestimmte, in gewissen Grenzen schwankende, dem Verwendungszweck entsprechende Zusammensetzung gefordert. So verlangt man z. B. in manchen Fällen ein phosphorarmes graues, in anderen ein dünnflüssiges phosphorreiches graues, in wieder anderen ein weißes, aber manganarmes Gießereiroheisen usw. Für den Bessemerprozeß gebraucht man ein hochsiliziertes, sehr phosphorarmes, für das Thomasverfahren ein sehr phosphorreiches, für den Martinprozeß meist ein manganreiches Roheisen usw. Natürlich kann man nicht mit jedem Erz irgendein beliebiges Roheisen erzielen. Jedem Erze entspricht vielmehr ein bestimmtes Roheisen als das natürlichste. Immerhin kann man aber durch die Menge des Zuschlags und des Koks, ferner durch die Windtemperatur und -pressung in weitgehender Weise die Zusammensetzung des aus den gleichen Erzen zu erzielenden Roheisens beeinflussen. Einen allgemeinen Überblick über die wichtigsten Roheisengattungen bzw. die besonderen Legierungen mit Roheisencharakter und Beispiele ihrer Zusammensetzung gibt die folgende Zusammenstellung:

Roheisengattung	Bruch- farbe	Zusammensetzung in Gewichtsprozenten			
		C	Si	Mn	P
Hämatit	grau	3,5—4,5	2,0—4,0	0,7—1,2	0,07—0,10
Gießereiroh Eisen Nr. I u. III	„	3,0—4,5	2,0—4,0	0,3—2,0	0,3—1,9
Gießereiroh Eisen Nr. V	„	3,0—3,5	1,2—2,0	0,3—0,5	1,7—1,9
Bessemerroh Eisen	„	3,0—4,5	1,0—2,5	3,0—5,0	0,07—0,08
Puddelroh Eisen	weiß	2,0—4,0	0,2—1,5	1,5—5,0	0,2—1,0
Thomasroh Eisen (Rheinl.-Westf.)	„	2,8—4,0	0,4—1,5	1,0—2,0	1,0—2,5
Thomasroh Eisen (Lothringen)	„	2,8—3,5	0,4—1,0	0,3—1,5	1,7—2,0
Martinroh Eisen	„	3,0—4,0	0,6—2,5	1,5—4,5	0,2—0,3
Stahl Eisen	„	3,0—3,5	0,2—0,8	4,0—8,0	0,07—0,09
Spiegeleisen	„	4,0—5,5	0,3—1,0	10—20	0,06—0,1
Ferromangan	„	5,5—7,5	0,2—1,3	20—80	0,3—0,4
Ferrosilizium	grau	0,8—3,0	8—17	0,6—1,5	0,07—0,2
Siliziumspiegel	weiß	1,0—1,5	12—14	19—23	0,07—0,2

Die Schlacke. Als zweites Hochofenerzeugnis erhalten wir die Schlacke. Diese ist schon in vielen Fällen das Schmerzenskind des Eisenhüttenmanns gewesen, denn sie bringt ihm oft nicht nur nichts ein, sondern kostet ihm meist große Summen zur Fortbeförderung und Lagerung. Wenn man bedenkt, daß auf 1 t erzeugten Roheisens durchschnittlich ebensoviel Schlacke kommt, daß diese aber etwa den dreifachen Raum einnimmt, so kann man sich berechnen, welche große Schlackenberge, Halden genannt, sich allein im Laufe eines Jahres auf einem Hochofenwerk ansammeln müssen. Gerade aber in den Industrierevieren ist der Grund und Boden besonders wertvoll und unter Umständen überhaupt nicht mehr zu erwerben, weil er schon anderweitig bebaut ist. Daher war es von jeher das Bestreben des Eisenhüttenmanns, die Schlacke irgendwie zu verwerten. Zum Teil sind diese Bemühungen auch von Erfolg gekrönt worden.

Man läßt heutzutage die glutflüssige Schlacke aus dem Hochofen entweder in eiserne Töpfe fließen, läßt sie in diesen erstarren und kippt die einzelnen Klöße auf die Halde, oder aber, man körnt (granuliert) sie, d. h. man leitet sie noch in geschmolzenem Zustande unmittelbar vom Hochofen aus in bewegtes Wasser, wo-

bei sie in einen feinkörnigen Sand zerfällt. Die in Form von Klößen erstarrte Schlacke (Kloßschlacke) kann, nachdem sie durch Zerkleinerungsmaschinen in beliebig große Stücke gebrochen ist, sehr gut als Schottermaterial für Straßen- und Dammbauten verwendet werden. Ist die Schlacke nicht allzureich an Kalk und Tonerde und läßt man sie möglichst langsam in Pfannenwagen mit großem Rauminhalt abkühlen, so kann sie annähernd die Festigkeit eines Basaltgesteins erlangen. Die gekörnte Schlacke läßt sich in sandarmen Gegenden als Schüttmaterial für Fußwege und Eisenbahndämme verwenden, ferner als Bergeversatz, d. h. als Füllmaterial der Hohlräume, die nach der bergmännischen Gewinnung von Mineralien in der Erdrinde zurückbleiben, dann als Füllstoff zur Betonbereitung, zur Herstellung von Bausteinen usw.

Von größter Bedeutung ist die Schlackenverwendung zur Zementbereitung. Man kann die aus Eisenhochofenschlacke gegenwärtig erzeugten Zemente in vier Gruppen einteilen: Portlandzement, Hochofenzemente, Eisenportlandzement, Schlacken- oder Puzzolanzement. An der Zusammensetzung dieser Zemente nehmen in erster Linie die drei Ornde: Kalk (CaO), Kieselsäure (SiO_2) und Tonerde (Al_2O_3) teil. Portlandzement¹⁾ wird dadurch hergestellt, daß man aus Kalk und Hochofenschlacke im geeigneten Mischungsverhältnis Klinker erbrennt, die dann feingemahlen werden. Die Hochofenzemente bestehen hauptsächlich aus gemahlener, rasch gefühlter glasiger Schlacke mit geringem Zusatz von gemahlener Portlandzementklinkern. Der Eisenportlandzement wird hergestellt durch Vermahlen von 70% Portlandzementklinkern mit 30% granulierter glasiger Schlacke. Die Fabrikation der Schlacken- oder Puzzolanzemente schließlich beruht auf inniger Vermischung feingemahlener basischer Hochofenschlacke mit pulverförmigem Kalkhydrat.

Gichtgase. Das dritte Erzeugnis des Hochofens, das Gichtgas, dessen Zusammensetzung wir bereits auf S. 52 kennengelernt haben, wird zu den verschiedensten Zwecken verwendet. Früher ließ man es achtlos in die Luft entweichen und vergeudete da-

1) Der Portlandzement wird meist nur aus natürlichen Rohstoffen hergestellt, nämlich aus einem Gemisch von Kalkstein mit Ton.

durch viele Millionen. Wenn die Gichtgase auch verhältnismäßig arm an brennbaren Bestandteilen sind und daher nur eine geringe Wärmemenge liefern (durchschnittlich 800 W.-E. pro cbm), so muß man doch die außerordentlich große Menge in Betracht ziehen, die täglich von einem Hochofen geliefert wird. Auf 1 t Roheisen kommen im Durchschnitt etwa 4500 cbm Gichtgas, das wären bei einem einzigen großen Hochofen von 400 t Tagesleistung in 24 Stunden allein schon 1800 000 cbm Gichtgas. Würde man diese nicht auffangen und verwenden, so würde man also bei einem solchen Hochofen am Tage durchschnittlich 1440 Millionen W.-E. zwecklos in die Luft jagen.

Die Gichtgase werden zu Heizzwecken und zu motorischen Zwecken verwendet, und zwar vornehmlich zur Heizung von Winderhizern, ferner auch von Trockenöfen, Koksöfen, Rostöfen, Brennöfen u. a., sodann zur Dampferzeugung und endlich unmittelbar zum Antrieb von Gasmaschinen.

Die den Hochofen unter Druck und mit verhältnismäßig großer Geschwindigkeit durcheilenden Gase reißen aus der Hochofenbeschickung je nach deren Beschaffenheit eine mehr oder weniger große Menge Staub — 5 bis 20 Gramm je Kubikmeter Gas — mit sich fort, der vorwiegend aus Feinerz, Koksabrieb u. dgl. besteht. Dieser „Gichtstaub“ muß aus den Gasen zum weitaus größten Teil entfernt werden, weil er deren Heizwert erniedrigt, die Heizkanäle der zu erhitzenden Apparate usw. verstopft, dadurch öfter kostspielige Reinigungen erforderlich macht und bei Verwendung der Gase zu motorischen Zwecken schon in geringsten Mengen einen schnellen Verschleiß der Gasmaschinen herbeiführt. Die Entfernung des größten Staubes geschieht dadurch, daß man den Gasen mehrfache Richtungsänderung durch entsprechende Lage der Rohrleitungen gibt und ihre Geschwindigkeit durch Einleiten in 10—20 m hohe Behälter mit besonders großem Querschnitt, sog. Staubsammler, stark vermindert. Der in den Rohrleitungen und Behältern angesammelte Staub wird von Zeit zu Zeit aus diesen abgezogen, um nach Brikkettierung oder Agglomerierung wieder im Hochofen verschmolzen zu werden. Eine noch weitergehende Staubentfernung erzielt man auf nassem Wege, indem man das trocken vorgereinigte Gas in sog. Skrubber leitet, hohe Behälter, die innen mit Holzhorsten

ausgelegt sind und in denen dem hochsteigenden Gase fein vertheiltes Wasser in großen Mengen entgegenrieselt. Da auch hierdurch die Staubentfernung in den meisten Fällen noch nicht gründlich genug erfolgt, unterzieht man die Gase, insbesondere wenn sie für motorische Zwecke verwendet werden sollen, noch einer Feinreinigung. Man leitet sie dazu im allgemeinen in Zentrifugalapparate oder Ventilatoren (System Theisen u. a.), in denen der Staub nach Beschwerung mit fein versprühtem Wasser durch die Fliehkraft aus dem Gas entfernt wird. Die Staubmenge kann auf diese Weise auf 0,025—0,001 Gramm je Kubikmeter Gas vermindert werden. Um den bei der nassen Reinigung ins Gas übergegangenen Wassergehalt wieder daraus zu vertreiben, läßt man dieses schließlich noch durch Filter aus Holz- wolle, Koks, Sägemehl u. dgl. gehen. Da die Zentrifugalreiniger sehr beträchtliche Wassermengen verbrauchen, nimmt man auf einigen Werken die Feinreinigung auch auf trockenem Wege vor, indem man das Gas auf 40—80° abkühlt und dann durch Filter drückt.

Von dem erhaltenen Gichtgas verbraucht man für die Winderhitzer 35—40%, weitere 5% kommen für Leitungsverluste und Unregelmäßigkeiten in Anrechnung, so daß noch 55—65% für sonstige Zwecke zur Verwendung stehen. Von diesen benötigt der Hochofenbetrieb für sich zum Antrieb aller dazu gehörigen Maschinen u. dgl. etwa 25—30%, so daß 25—40% für Zwecke außerhalb des Hochofenwerks übrigbleiben.

Zehntes Kapitel.

Die Darstellung des schmiedbaren Eisens.

A. Die Darstellung des schmiedbaren Eisens aus Roheisen.

1. Die Darstellung des Schweißeisens: Das Puddelverfahren.

Das Schweißeisen wird durch das Puddelverfahren dargestellt. Dieses beruht auf einem Einschmelzen geeigneten Roheisens im Puddelofen und einem Oxydieren der im Roheisen enthaltenen fremden Bestandteile durch Einrühren von Luft, von sauerstoff- und kohlenstoffreichen Brenngasen sowie eisenoxydreichen Schlak-

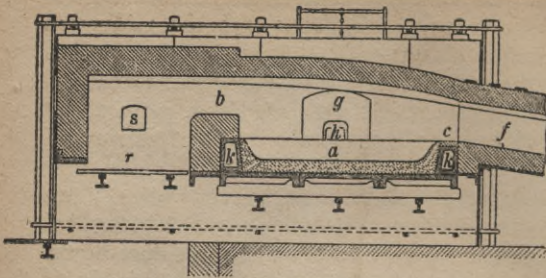


Abb. 4. Einfacher Puddelofen (Längsaufriß).

zu schmelzen, so erhält man es in Form eines teigförmigen, von Schlacke durchsetzten Erzeugnisses.

Der Puddelofen. In dem zur Gattung der Flammöfen gehörigen Puddelofen kommt das Eisen nur mit der Flamme des Brennstoffs, nicht aber mit diesem selbst wie bei dem alten Herdfrischverfahren in Berührung. Einen Puddelofen in seiner einfachsten Ausführung stellen die Abb. 4 und 5 im Längsschnitt dar. Er besteht aus drei Hauptteilen: der Feuerung mit dem Rost r und dem Schürloch s, dem Arbeitsherd a mit der großen Einsahtür g und der kleinen Arbeitsöffnung h und endlich dem Fuchs f. Der Herd a wird von der Feuerung durch die Feuerbrücke b, vom Fuchs durch die Fuchsbrücke c getrennt. Der muldenförmige Herd setzt sich aus einer eisernen Sohlplatte und einem darauf ruhenden von Kühlwasser durchflossenen eisernen Rahmen k zusammen. Die Ausfütterung des Herdes besteht aus schwer schmelzbaren eisenoxydreichen Schlacken, die die Sohle und

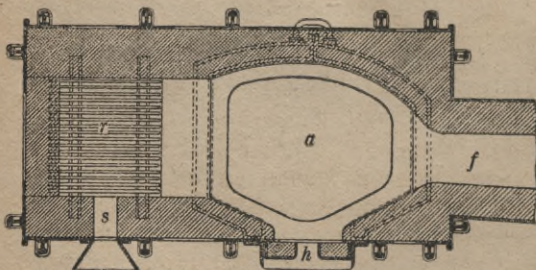


Abb. 5. Einfacher Puddelofen (Grundriß).

Wände des Herdes vor den nachteiligen Einwirkungen des Eisensbades schützen. Die Ofenwandungen und das sie bedeckende Gewölbe bestehen aus feuerfesten Steinen. Als Brennstoff dient

fen in das Eisensbad. Die oxydierten Bestandteile gehen entweder in die Schlacke über oder entweichen als Gase. Da die Temperatur im Ofen nicht hoch genug ist, um das entstehende schmiedbare Eisen

vielfach Steinkohle, die auf horizontalem Rost verbrannt wird, doch können auch Braunkohle und andere Brennstoffe verwendet werden. Die heißen Feuergase streichen über den Arbeitsherd und werden durch den Fuchs und die (in der Abbildung nicht mitgezeichnete) Esse abgesogen, nachdem sie zunächst noch einen Dampfkessel geheizt haben.

Die Arbeitsweise beim Puddeln ist verschieden, je nach der Zusammensetzung des verwendeten Roheisens und der Art des herzustellenden Erzeugnisses. Will man ein weiches kohlenstoffarmes Puddeleisen mit sehnigem Gefüge darstellen, will man also „auf Sehne puddeln“, so verwendet man mit Vorliebe weißes Roheisen, weil bei diesem die Oxydation der zu entfernenden Fremdstoffe schneller vor sich geht, der Abbrand daher geringer und der Brennstoffverbrauch niedriger ist als bei grauem Roheisen. Das Roheisen wird in festem Zustande in einer Menge von etwa 300—500 kg (bei einfachen Öfen) gleichzeitig mit eisenorydnreicher Schlacke durch die große Einsahtür in den Ofen gebracht, in dem meist noch ein Rest von Schlacke von dem letzten Einsaß zurückgeblieben ist. Schon nach 30—40 Minuten ist das eingesetzte Eisen unter Einwirkung der heißen Flamme des Brennstoffs geschmolzen. Bereits beim Schmelzen beginnt der mit den Brenngasen eingeführte Sauerstoff der Luft und des in der Schlacke enthaltenen Eisenoryndes auf das Roheisen einzuwirken, indem er einen Teil des Siliziums, Mangans, Eisens und Phosphors unter Wärmeentwicklung (s. S. 91) zu Kieselsäure bzw. Manganoryndul, Eisenoryndul, Phosphorsäure oryndiert und in Schlacken überführt. Auch etwas Kohlenstoff verwandelt er schon jetzt in Kohlenoryndgas. Die entstandene Schlacke bedeckt das Eisen und verhindert dadurch den Sauerstoff der Brenngase an weiterer energischer Oxydationswirkung. Der Puddler muß also dem Sauerstoff einen Weg durch die Schlacke bahnen, damit er weiter mit dem Eisen in Berührung kommen und dessen fremde Beimengungen oryndieren kann. Zu diesem Zwecke fährt er mit der Kraße, einer langen eisernen Stange, die an ihrer Spitze hakenförmig gekrümmt ist, durch die kleine Arbeitsöffnung h und durchpflügt gleichsam mit diesem Werkzeug durch Hin- und Herziehen das ganze Bad. Ist die Schlacke zu dünnflüssig, schließen sich daher die im Bade von der Kraße gezogenen Furchen wieder

so schnell, daß der Sauerstoff seine Schuldigkeit nicht in hinreichendem Maße tun kann, so hat der Puddler durch Einwerfen feuchter Schlacke, Schließen der Esse u. dgl. für Temperaturerniedrigung zu sorgen, wodurch die Schlacke wieder steifer wird.

Während des Rührens mit der Krake ist infolge der Oxydation des Siliziums, Mangans usw. die Badtemperatur so gestiegen, daß nun auch der Kohlenstoff in größerer Menge zur Oxydation gebracht wird. Das dabei entstehende Kohlenoxydgas, das zum Teil aus dem Bade heraussteigt und mit blauen Flämmchen verbrennt, bringt bald das ganze Bad ins Wallen; dieses fängt an aufzuschäumen, und ein Teil der Schlacke fließt über die Arbeitsöffnung hinaus. Je länger der Puddler nun seine Tätigkeit fortsetzt, desto anstrengender wird sie, denn das Eisen beginnt bald zu kristallisieren. Wenn der Puddler jetzt mit seiner Krake hindurchfährt, knirscht es, als ob man über hartgefrorenen Schnee fährt. Worauf beruht nun dieses Erstarren? Die erhitzende Flamme streicht doch nach wie vor über den Herd! Man erinnere sich hier der Ausführungen S. 36: Je geringer der Kohlenstoffgehalt des Eisens, desto höher seine Schmelztemperatur. Der Kohlenstoff ist nun in diesem Falle durch die Oxydation bis auf eine geringe Menge herausgebracht, die Temperatur im Ofen aber ist nicht in entsprechender Weise bis zum Schmelzpunkt kohlenstoffarmen Eisens erhöht worden, das Metall muß daher zu erstarren beginnen. Weshalb es nicht möglich ist, die erforderliche Schmelztemperatur im Puddelofen durch die Verbrennung des Brennstoffs zu erreichen, geht aus den Erläuterungen auf S. 52 hervor. Daß sich andererseits die zur Schmelzung kohlenstoffarmen Eisens erforderliche Temperatur nicht durch die Oxydation der im Eisen erhaltenen Fremdstoffe ebenso wie beim Bessemerverfahren erzielen läßt, kommt daher, daß die Oxydation beim Puddeln zu langsam vor sich geht.

Das Roheisen ist nun durch das Puddeln zwar in schmiedbares Eisen verwandelt, aber noch ist es nicht gleichmäßig genug entkohlt, einzelne Teile des Eisenbades sind mehr, andere weniger von der Oxydationswirkung betroffen worden. Der Puddler nimmt daher eine spitze Brechstange und bricht damit die ganze erstarrte Masse auf. Er bringt dabei die unteren Teile nach oben, teilt größere Haufen auseinander und erreicht dadurch,

daß der Sauerstoff auch an die Stellen dringt, an die er vorher nicht in hinreichender Menge gelangte. Sodann teilt er die zuletzt auf einen Haufen gebrachte ganze Eisenmenge in 4—6 Klumpen und schiebt diese zur Fuchsbrücke (Umsetzen). Darauf beginnt er mit dem Luppenmachen. Er drückt mit dem Brecheisen die einzelnen Klumpen zusammen und formt sie durch Hin- und Herrollen auf dem Herde zu kugeligen Luppen. Hierbei fließt noch ein großer Teil der Schlacke aus den Eisenklumpen heraus und die im Herde vorhandenen Eisenreste schweißen mit den Luppen zusammen. Noch einmal wird bei geschlossenen Türen tüchtig Feuer gemacht, um weitere Schlackenmengen in den Luppen zum Ausfließen zu bringen, dann werden die letzteren mit Zangen aus dem Ofen geholt und unter einen kleinen Dampfhammer gebracht. Durch das Hämmern wird das schwammige Eisen verdichtet und viel eingeschlossene Schlacke ausgepreßt. Anschließend hieran geht noch in derselben Hitze die Weiterverarbeitung durch Schmieden oder Walzen zu Knüppeln oder Rohschienen (mit etwa 4% Schlacke) vor sich.

Bei der Darstellung eines höher gefohlten Puddeleisens (Feinkorneisen) oder des kohlenstoffreichen Puddelstahls kommt es im Gegensatz zum „Puddeln auf Sehne“ darauf an, die Oxydation nicht zu energisch durchzuführen, da man ja den Kohlenstoff des Eisens nur bis zu einem gewissen Grade daraus entfernen will. Um dieses Ziel zu erreichen, wendet man verschiedene Mittel an. Man wählt einen möglichst silizium- und manganreichen Einsatz, z. B. ein graues Roheisen und Spiegeleisen. Das Silizium, welches in seiner Hauptmenge stets vor dem Kohlenstoff oxydiert, bewahrt diesen schon an und für sich vor zu rascher Verbrennung. Ferner entwickelt Silizium bei der Oxydation bedeutende Wärmemengen (s. S. 91), so daß beim Einschmelzen gleich eine starke Schlackendecke gebildet wird, die den Kohlenstoff ebenfalls vor zu schneller Oxydation schützt. Der hohe Mangan-gehalt des Einsatzes andererseits befördert die Dünnsflüssigkeit der Schlacke, somit ein schnelles Zusammenfließen der von der Krabe gezogenen Furchen und dementsprechend ebenfalls geringe Oxydationswirkung des Sauerstoffs der Brenngase. Zur Beibehaltung dünnflüssiger Schlacke wird auch die Temperatur beim Puddeln auf Feinkorn nicht erniedrigt wie beim Sehnepuddeln.

Zwecks Verhinderung einer weitgehenden Oxidation wird schließlich das Aufbrechen und Umsetzen beschleunigt, das Luppenmachen unter der Schlackendecke durchgeführt und der Zusatz stark oxydierender Eisenschlacken vermieden. Durch die langsame Oxidation wird übrigens noch erreicht, daß eine größere Menge des dem kohlenstoffreicheren Eisen besonders gefährlichen Schwefels in die Schlacke übergeht.

Das Puddelverfahren ist seit Jahren ständig im Rückgange begriffen und jetzt nur noch zur Herstellung von Spezialeisensorten in Anwendung. Der Grund hierfür liegt darin, daß das Puddeleisen nur in kleinen Mengen und durch anstrengende, mit hohen Kosten verbundene menschliche Arbeit gewonnen werden kann, ferner darin, daß es wegen seines Schlacken gehaltes keine allzu große Festigkeit besitzt und daher für viele Zwecke nicht geeignet ist. Einige hervorragende Eigenschaften des Schweißeisens haben jedoch das Puddelverfahren bisher lebensfähig gehalten, dazu gehören u. a. seine vorzügliche Schweißbarkeit und Schmiedbarkeit.

2. Die Darstellung des Flußeisens.

Das Bessemer- und das Thomasverfahren (Windfrischen).

Das Bessemerverfahren. Das im Jahre 1856 von dem Engländer Henry Bessemer erfundene und nach ihm benannte Verfahren ermöglicht, geschmolzenes Roheisen mittels Durchblasen von Luft ohne Anwendung gewöhnlicher Brennstoffe in schmiedbares Eisen, das in flüssigem, schlackenfreiem Zustande gewonnen wird, umzuwandeln.

Die Bessemerbirne. Das Bessemerverfahren geht noch heute in einem Apparat vor sich, den in ganz ähnlicher Ausführung bereits der Erfinder selbst nach mehrjährigen Versuchen entworfen hat. Man nennt ihn wegen seiner birnenähnlichen Gestalt Bessemerbirne oder auch mit der englischen Bezeichnung Konverter. Die Abb. 6 und 7 stellen eine solche Birne in seitlicher Ansicht und im Querschnitt dar. Die Bessemerbirne ist ein an zwei drehbaren Zapfen in einem starken Eisengestell hängendes großes Gefäß. Sie besteht aus einem dicken schmiedeeisernen Mantel, der im Innern mit kiesel-sauren Stoffen ausgefüllt ist. Der Mantel ist mittels eines starken Tragrings

mit den Zapfen fest verbunden. Der eine dieser Zapfen hat ein Zahnrad, in das eine entsprechende Zahnstange a eingreift. Durch Auf- und Abwärtsbewegen der Zahnstange läßt sich die Birne kippen und in verschiedene Stellungen bringen. Der andere Tragzapfen (b), welcher der Zuführung der Preßluft (des Windes) dient, ist hohl und ist durch ein Rohr einerseits mit einem Gebläse, andererseits mit dem unter dem Boden der Birne befindlichen Windkasten c verbunden. Von dem Windkasten aus führen zahlreiche Durchbohrungen durch den Boden in die Birne. Der Boden ist, weil das Futter dort stärker angegriffen wird als an den Seitenwandungen und daher öfter ersetzt werden muß, zum Auswechseln eingerichtet. Der obere sich verengende Teil der

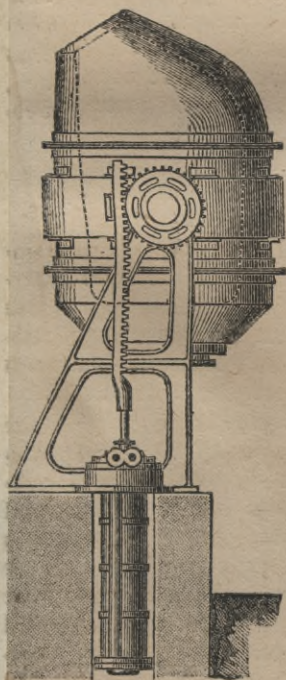


Abb. 6.

Bessemerbirne (Seitenansicht).

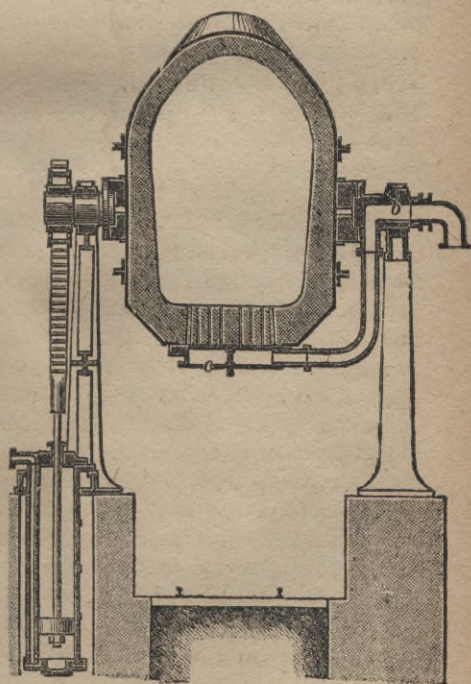


Abb. 7.

Bessemerbirne (Vertikalschnitt).

Birne wird Hals genannt, der in der Abb. 6 rechts befindliche Teil heißt Rücken.

Beim Bessemerprozeß verwendet man flüssiges Roheisen, und zwar aus Gründen, die wir nachher noch kennen lernen werden, ein Roheisen mit hohem Siliziumgehalt (1—2%), mittlerem Mangangehalt (1%) und niedrigem Phosphor- und Schwefelgehalt (0,1 bzw. 0,05%). Dieses entnimmt man meist dem Hochofen. Ist mit der Bessemeranlage jedoch kein Hochofenwerk verbunden, so schmilzt man es erst in sog. Kupolöfen (S. 121) ein. Das flüssige Roheisen aus Hoch- oder Kupolöfen kommt meist nicht unmittelbar in die Birne, sondern man bringt es erst in ein mächtiges eisernes, mit feuerfestem Material ausgefüttertes Gefäß, den Mischer. Damit verfolgt man einen doppelten Zweck: Zunächst können die Roheisenmengen, die von verschiedenen Hochofenabstichen stammen und daher in der Zusammensetzung Abweichungen zeigen, sich darin derart vermischen, daß man einen für viele aufeinanderfolgende Bessemerchargen möglichst gleichmäßigen Rohstoff erhält; dann aber scheidet sich auch bei dem ruhigen Stehen des Eisens eine beträchtliche Menge seines größten Feindes, des Schwefels, ab. Dieser hat nämlich eine große Affinität zum Mangan, er verbindet sich daher mit diesem im Bessemerroheisen enthaltenen Element und bildet eine Schlacke, die wegen ihres geringen spezifischen Gewichts im Bade hochsteigt und dann leicht daraus zu entfernen ist. Der Mischer ist stets zum Kippen eingerichtet und oft mit Heizvorrichtung versehen. Größere Mischer fassen bis zu 1500 t Roheisen. Aus dem Mischer wird das Roheisen in Pfannen abgekippt und in diesen auf Wagen oder an Kranen den Birnen zugeführt.

Das Arbeitsverfahren. Die von der letzten Hitze (Charge) noch glühende Birne wird so weit gekippt, daß sie wagerecht auf dem Rücken liegt. Dann wird das vom Mischer in der Pfanne herbeigefahrene flüssige Eisen in ihren Hals gegossen. Es darf natürlich nur so viel Eisen eingefüllt werden, daß es weder durch die Winddüsen in den Windkasten dringt noch aus dem Halse herausfließt. Nach dem Einfüllen werden die Gebläsemaschinen angestellt. Der auf $1\frac{1}{2}$ —2 at gepreßte kalte Wind gelangt durch den hohlen Zapfen in den Windkasten und von dort durch die Düsen in die Birne. Diese wird nun aufgerichtet und das Bla-

sen beginnt: Der Wind durchdringt in zahlreichen Strahlen das flüssige Eisen und fängt sofort an, seine oxydierende Wirkung auszuüben, indem er zunächst das Silizium, dann das Mangan zum größten Teil und in kürzester Zeit in ihre Sauerstoffverbindungen überführt und so in Schlacken verwandelt. Bei der Vereinigung des Siliziums und Mangans und später auch des Kohlenstoffs und Eisens mit dem Luftsaurestoff entwickeln sich ähnlich wie bei der Verbrennung des in den gewöhnlichen Brennstoffen enthaltenen Kohlenstoffs (vgl. S. 46) bedeutende Wärmemengen, und zwar in so kurzer Zeit — der ganze Prozeß ist in etwa 15 Minuten beendet —, daß das Bad eine Temperatursteigerung um mehrere hundert Grad erfährt. Die genannten im Eisen enthaltenen Elemente und sogar das Metall selbst spielen also beim Besserverfahren die Rolle von Brennstoffen, die die Anwendung gewöhnlicher Brennstoffe (Kohle usw.) ganz überflüssig machen. Würde das Bad durch die Verbrennung der genannten Elemente nicht eine so bedeutende Temperaturerhöhung erfahren, so wäre das ganze Verfahren überhaupt nicht auszuführen; denn es ist ja klar, daß das Eisenbad durch die kalten Windstrahlen und die Außenluft immer mehr abgekühlt wird. Umgekehrt muß aber die Heiztemperatur mit dem abnehmenden Gehalt an Fremdstoffen, vor allem an Kohlenstoff, während des Verfahrens immer noch zunehmen, um das Bad flüssig zu erhalten; denn die Schmelztemperatur des Eisens steigt ja mit abnehmendem Gehalte an Fremdstoffen sehr bedeutend. Ist der größere Teil des Siliziums und Mangans oxydiert, so kommt der Kohlenstoff an die Reihe. Mit immer stärker werdendem Getöse tritt das entstehende Kohlenoxydgas aus dem Birnenhalse heraus und verbrennt mit mächtiger helleuchtender Flammengarbe, die an ihrem Ende in einen vorwiegend aus Oxyden des Mangans und Eisens bestehenden braunen Rauch eingehüllt ist. So heftig geht die Oxydation im Innern der Birne vor sich, daß aus dem kochenden Eisenbade ein wahrer Sprühregen von Schlackenteilchen und glitzernden Sternchen verbrennenden Eisens sich über die Umgebung ergießt, ein wundervoller Anblick besonders zur Nachtzeit. Allmählich wird die Flamme kürzer und durchsichtiger, der braune Rauch an der Spitze verstärkt sich. Schließlich jedoch zieht sich die Flamme ganz in die Birne zurück

und der Oxydationsvorgang ist beendet. Die Birne wird jetzt wieder gekippt und der Wind wird abgestellt. Man hat ein fast kohlenstofffreies Flußeisen erhalten.

Doch mit diesem Flußeisen ist nichts anzufangen. Leider ist nämlich bei dem Verfahren neben den im Eisen enthaltenen Fremdstoffen auch eine gewisse Menge des Eisenmetalls selbst oxydiert worden, und zwar zu Eisenoxydul (FeO). Dieses löst sich in dem Flußeisen auf und erteilt ihm die unangenehme Eigenschaft, rotbrüchig zu sein, d. h. bei der Bearbeitung in Rotglut, z. B. beim Walzen, Risse zu bekommen und sogar zu zerbrechen. Man muß also den in Form des Eisenoxyduls im Eisen aufgelösten Sauerstoff wieder daraus entfernen, das Flußeisen „desoxydieren“, wie man sich technisch ausdrückt. Dies geschieht, indem man ihm einfach Stoffe zusetzt, die ein größeres Vereinigungsbestreben zum Sauerstoff haben wie das Eisen selbst, die also den Sauerstoff an sich reißen und dann zum größten Teil in die Schlacke gehen. Ein solcher Stoff ist das in den Legierungen Ferromangan und Spiegeleisen enthaltene Mangan. Das Mangan verbindet sich nach der Gleichung $\text{FeO} + \text{Mn} = \text{MnO} + \text{Fe}$ mit dem Sauerstoff des Eisens. Das gebildete MnO ist schwer im Eisenbade löslich, steigt, da es spezifisch leichter ist als dieses, darin hoch und geht in die Schlacke über.

Spiegeleisen und Ferromangan enthalten neben dem hohen Mangangehalt auch noch viel Kohlenstoff. Sie haben daher auch die wichtige Aufgabe, dem nahezu kohlenstofffreien Eisenbad wieder einen gewissen erforderlichen Kohlenstoffgehalt zuzuführen, technisch ausgedrückt, es rückzukohlen. Will man kohlenstoffarmes weiches Flußeisen erhalten, so setzt man nur 0,2—2% vom Einsatzgewichte an rotglühendem oder geschmolzenem hochprozentigem Ferromangan (mit etwa 80% Mn) hinzu. Zur Erzielung von kohlenstoffreichem Flußeisen (Stahl) würde bei einem größeren Zusatz von Ferromangan jedoch zuviel Mangan ins Bad gelangen. Man kohlt es daher mit dem viel manganärmeren (vgl. S. 80) Spiegeleisen (2—10% vom Einsatzgewicht). Sollte die hierdurch ins Eisen übergeführte Manganmenge immer noch den gewünschten Höchstgehalt überschreiten, so kann man auch nach Abgießen der Schlacke und nach erfolgter Desoxydation mit weniger Spiegeleisen mit schwefelarmem Koks oder Graphit die

Kohlung vornehmen, während der Stahl in die Pfanne entleert wird (Darbyverfahren, Düdelingerverfahren).

Man kann zur Erzeugung von Stahl das Rückkühlen auch umgehen, indem man mit dem Blasen einfach aufhört, wenn der Kohlenstoffgehalt bis auf die gewünschte Menge herunter oxidiert worden ist. Ein geübter Sachmann kann den betr. Zeitpunkt, unter Umständen mittels eines Spektroskops, annähernd feststellen, allerdings weit schwieriger als den, in dem nahezu der ganze Kohlenstoff verbrannt ist. Daher zieht man im allgemeinen vor, die Entkohlung vollständig durchzuführen, zumal auch bei der teilweisen Kohlenstoffverbrennung schon Sauerstoff im Eisen aufgelöst wird und daher ein Zusatz von Ferromangan bzw. Spiegeleisen doch nicht ganz zu umgehen ist.

Das Thomasverfahren. So große Erwartungen man auch auf den Bessemerprozeß gesetzt hatte, so große Enttäuschungen brachte er anfangs mit sich. Vor allen Dingen hatte er den großen Nachteil, daß der Phosphor durch ihn aus dem Eisen nicht entfernt werden konnte. Da aber in Deutschland der größte Teil aller verhüttbaren Erze phosphorhaltig ist und daher phosphorreiche Roheisensorten liefert, so konnte der Bessemerprozeß bei uns nur in vereinzelter Gegenden mit phosphorfreien Erzen, wie z. B. im Siegerlande, Bedeutung gewinnen. Schon bald nach Erfindung des Verfahrens machten bedeutende Eisenhüttenleute darauf aufmerksam, daß die Abscheidung von Phosphor gelingen müßte, sobald das kiesel-saure Futter durch ein basisches ersetzt und dem Bade ein basischer Zuschlag gegeben würde. Nur basische Schlacken, wie z. B. stark kalkige, vermögen die durch Einwirkung des Luft-sauerstoffs aus dem Phosphor gebildete Phosphorsäure zu binden und das Element auf diese Weise dem Eisen zu entziehen. Eine basische Schlacke löst aber noch andere Säuren, also auch Kiesel-säure in sich auf. Ein aus Kiesel-säure bestehendes Futter, wie es die Bessemerbirnen haben, würde daher binnen kurzem von einer basischen Schlacke aufgezehrt sein, und die Schlacke selbst würde dabei ihren basischen Charakter einbüßen. Die etwa schon gebundene Phosphorsäure würde auf diese Weise wieder frei werden und der Phosphor durch Reduktion wieder ins Eisen zurückgelangen. Daher ist neben einer basischen Schlacke ein basisches Futter in den Birnen zur Phosphorabscheidung

unbedingt notwendig. Bald nach Erfindung des Bessemerverfahrens wurden denn auch zahlreiche Vorschläge in dieser Richtung gemacht und viele Stoffe praktisch durchgeprobt, aber keiner von ihnen hatte die nötige Widerstandsfähigkeit gegen die physikalischen und chemischen nachteiligen Einflüsse des hocherhitzten flüssigen Eisenbades. Über zwanzig Jahre gingen erst ins Land nach Erfindung des Bessemerprozesses, bis der Engländer Thomas im Jahre 1878 als Zuschlag Kalk und als basisches Futter Dolomit vorschlug, ein Gestein, das aus einem kristallinen Gemisch von Kalzium- und Magnesiumkarbonat besteht. Der zunächst bis zum Sintern gebrannte und dann fein gemahlene Dolomit wird durch Vermischen mit erhitztem wasserfreiem Teer bildsam gemacht. Dieses Gemisch wird dann entweder unter hohem Druck zu Steinen gepreßt, mit denen die Wandungen der Birnen ausgemauert werden, oder es wird unmittelbar von Hand auf die Wandungen aufgestampft. Der Boden wird mit Hilfe besonderer Maschinen stets gestampft.

Das Thomasverfahren zeigt kleine Abweichungen von dem Bessemerverfahren. Vor Einfüllen des Roheisens in die Birne werden in diese etwa 12—18% des Eiseneinsatzes an gebranntem Kalk geworfen, der, wie schon erwähnt, zur Bindung der entstehenden Phosphorsäure dient. Nach dem Einfüllen des flüssigen Roheisens verbrennen ähnlich wie beim Bessemerprozeß zuerst Silizium und Mangan, dann die Hauptmengen des Kohlenstoffs. Erst wenn der Kohlenstoff bis auf eine ganz geringe Menge, höchstens 0,1%, entfernt ist, beginnt der Phosphor zu oxydieren. Man nennt diese Periode der Phosphoroxydation, die kaum fünf Minuten in Anspruch nimmt, das Nachblasen. Das Ende der Phosphoroxydation läßt sich an der Flamme nicht genau erkennen. Man muß daher Schöpfproben nehmen. Am Bruchaussehen der abgekühlten geschmiedeten Probe und durch Biegen und Aufhauen derselben erkennt man leicht, ob der Phosphor entfernt ist. Ist dies nicht der Fall, so muß dies durch nochmaliges Aufrichten der Birne und weiteres Blasen geschehen. Ist der Phosphor vollständig in die Schlacke übergegangen, so gießt man diese vom Eisen ab und nimmt erst dann die Desoxydations- und Kohlungsarbeiten vor. Würde man die Schlacke vor Zusetzen der Desoxydationsmittel nicht erst entfernen, so würde durch den

Kohlenstoffgehalt dieser Legierungen der Phosphor reduziert und wieder in das Eisenbad zurückgeführt werden.

Die durch Verbrennen des Phosphors im Bade hervorgerufene Temperatursteigerung ist übrigens weit größer als diejenige, welche durch die Mangan- und Kohlenstoffoxydation bewirkt wird. Dies ist von großem Vorteil für eine erfolgreiche Durchführung des Verfahrens, nicht nur weil das Flußeisen gerade zuletzt nach Entfernung des größten Theils der Fremdstoffe einen besonders hohen Schmelzpunkt hat, sondern noch über diesen hohen Schmelzpunkt hinaus erhitzt sein muß, damit es sich gut gießen läßt. In dieser Hinsicht ist das Bessmer- dem Thomasverfahren unterlegen, weil bei ersterem die größte Temperatursteigerung durch Verbrennen des Siliziums umgekehrt zu Beginn statt gegen Ende des Verfahrens stattfindet. Das Thomasroheisen muß also nach dem eben Gesagten stets einen hohen Phosphorgehalt haben (vgl. S. 80). Dagegen muß sich der Siliziumgehalt in niedrigen Grenzen halten, weil sonst der zur Bindung der entstehenden Kieselsäure erforderliche Kalkzuschlag und dementsprechend auch die Schlackenmenge zu groß und der Durchführung des Verfahrens hinderlich werden würde. Gleichzeitig würde auch das basische Futter durch die Kieselsäure zu stark angegriffen werden.

Die Erzeugnisse. Durch die Windfrischverfahren kann man in einer halben Stunde in einer Birne Mengen bis zu 25 000 kg Roheisen in schmiedbares Eisen umwandeln. Daher sind der Bessmer- und der Thomasprozeß zur Massendarstellung von schmiedbarem Eisen ganz besonders geeignet; die ungeheuren Mengen an Eisenmaterialien für den Bau und Betrieb der Eisenbahnen, wie Schienen, Schwellen, Lasken u. dgl., und für den Bau von Eisenkonstruktionen jeglicher Art, wie Träger, Winkelleisen, Bleche usw., werden hauptsächlich aus Birnenflußeisen hergestellt. In den meisten Ländern, mit Ausnahme Nordamerikas, wird der Bessmerprozeß wegen der Unmöglichkeit, durch ihn phosphorhaltiges Roheisen zu verarbeiten, nur vereinzelt angewendet, jedenfalls zur Massendarstellung von Flußeisen; dagegen spielt der Thomasprozeß eine desto größere Rolle. Das meiste durch das Thomasverfahren erblasene schmiedbare Eisen ist ein weiches bis mittelhartes, gut schweiß- und schmiedbares Fluß-

eisen mit Kohlenstoffgehalten bis zu 0,5%. Zur Darstellung solcher Flußeisensorten ist das Thomas- dem Bessemerverfahren überlegen. Zu diesem und den weiter oben genannten Vorzügen des Thomasverfahrens kommt noch einer von allgemeiner Bedeutung hinzu: Während die Schlacken des sauren Prozesses nur ausnahmsweise Verwendung finden, spielen die Thomaschlacken in fein gemahlenem Zustande als sog. Thomasphosphatmehl in der Landwirtschaft eine große Rolle, da sie wegen ihres hohen Phosphorsäuregehalts ein vorzügliches Düngemittel sind. Der Phosphorsäuregehalt der Thomaschlacke schwankt zwischen 16 und 24%, der Kalkgehalt beträgt 46—50%, außerdem sind noch Kieselsäure und Magnesia darin enthalten, leider auch nicht unbeträchtliche Mengen an Eisenoxyden (8—16%) und Manganoxyden (4—12%). Diese Oxide, besonders aber das wertvolle Manganoxydul, aus der Thomasschlacke zum größten Teile fernzuhalten, wird eine der wichtigsten zukünftigen Aufgaben des Eisenhüttenwesens sein. Da den Pflanzen nicht der ganze Phosphorsäuregehalt des Thomasmehls zugute kommt, sondern nur der in Zitronensäure lösliche, so wird der Wert des Düngemittels durch jenen Gehalt bedingt. Die Zitronensäurelöslichkeit kann durch einen Zusatz an Kieselsäure (Sand) und möglichst weitgehendes Mahlen zu feinem Staub gesteigert werden.

Das in der Birne hergestellte Flußeisen wird in eine große Gießpfanne ausgekippt, die meist in einem fahrbaren Gießkran (Gießwagen) hängt. Die Pfanne ist mit feuerfestem Material ausgefüttert und hat in ihrem Boden eine Öffnung, die durch einen Stopfen mit Hebevorrichtung von außen geschlossen und geöffnet werden kann und durch die man den Stahl herausfließen läßt, falls die Entleerung nicht durch Kippen der Pfanne vorgenommen werden soll.

Das Gießen der Blöcke. Um das Flußeisen bequem weiterverarbeiten zu können, bringt man es allgemein in die Form mehr oder weniger großer prismatischer Blöcke, indem man es aus der Pfanne in sog. Kokillen (französisch coquille) fließen läßt, das sind gußeiserne hohe Kästen von quadratischem Querschnitt, die sowohl unten als oben offen sind. Zur Füllung der Kokillen gibt es zwei Gießverfahren, den direkten Guß und den steigenden

(kommunizierenden) Guß. Bei dem ersteren fließt der Stahl aus der Pfanne unmittelbar in die einzelnen auf gußeisernen Platten stehenden Kokillen von oben hinein; bei dem letzteren dagegen fließt er aus der Pfanne zuerst in einen Eingußtrichter, der in der Mitte einer ganzen Anzahl von Kokillen auf einer gemeinsamen Gußplatte aus feuerfesten Steinen steht und mit jeder einzelnen Kokille durch je einen Kanal in der feuerfesten Steinplatte verbunden ist. Vom Eingußtrichter gelangt das Flußeisen durch die einzelnen Kanäle von unten in die Kokillen und steigt in diesen hoch. Den steigenden Guß wendet man hauptsächlich dann an, wenn es auf möglichst dichtgegossene Blöcke ankommt und wenn eine größere Anzahl kleiner Blöcke gegossen werden soll; ein Füllen zahlreicher kleiner Kokillen von oben her würde viel zu zeitraubend sein. Durch steigenden Guß kann man Blöcke (Ingots) bis herab zu 80 kg gießen. Im übrigen ist die Größe der in Kokillen gegossenen Blöcke sehr verschieden, sie können ein Gewicht bis zu 5000 kg und darüber haben. Sind die Blöcke in den Kokillen erstarrt, so werden letztere mittels eines sog. Stripperfrans von den Blöcken nach oben hin abgezogen. Sollen die glühenden Blöcke dann gleich weiterverarbeitet werden, so werden sie mit großen an Kranen hängenden Zangen erfaßt und in das Walz-, Preß- oder Hammerwerk geschafft.

Siemens-Martinverfahren (Herdfriichen).

Der schon seit Mitte des 18. Jahrhunderts hergestellte, im flüssigen Zustande gewonnene Tiegelstahl erforderte so hohe Erzeugungskosten, daß man bereits in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts wiederholt versuchte, einen guten Flußstahl auf billigere Weise im Herde eines Flammofens darzustellen. Auch als der Bessemerprozeß erfunden war, ließ man von jenem Bestreben nicht ab, ja man wurde sogar darin bestärkt, besonders weil man die zahlreichen Stahlabfälle und Ausschußstücke des Bessemerverfahrens sowie die ständig zunehmenden Mengen an Alteisen (Schrott) wieder durch Einschmelzen verwerten wollte. Doch alle darauf hinzielenden Versuche scheiterten, weil es nicht gelingen wollte, eine genügend hohe Schmelztemperatur zu erzielen. Endlich hatten dann die Gebr. Martin zu Sireuil in Frankreich im Jahre 1864 den ersten praktischen Erfolg in die-

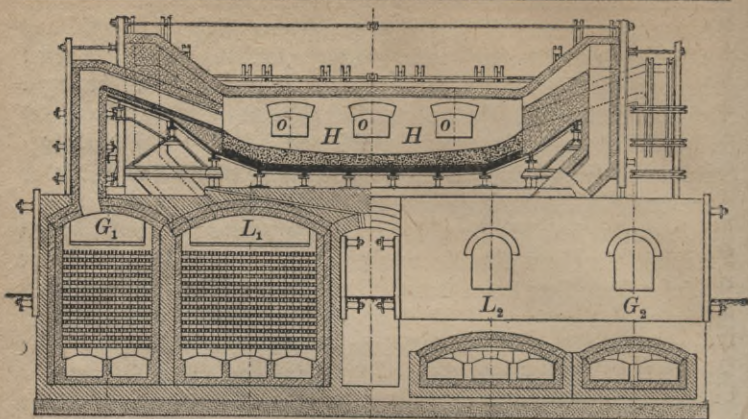


Abb. 8. Siemens-Martinofen (Längsschnitt).

fer Hinsicht zu verzeichnen. Ihnen gelang es, unter Anwendung der von Friedrich Siemens für die Glasfabrikation erfundenen und von seinem Bruder C. W. Siemens für das Eisenhüttenwesen umgeänderten Regenerativgasfeuerung, im Herde eines Flammofens brauchbaren flüssigen Stahl durch Zusammenschmelzen von Roheisen und Schmiedeeisen zu erzeugen. Aus diesem Verfahren, das ursprünglich in der Hauptsache als ein Umschmelzverfahren gedacht war, haben sich dann im Laufe der Zeit mehrere selbständige Frischverfahren entwickelt. Die sehr hohen Temperaturen bei der Siemensfeuerung werden dadurch erreicht, daß Gas, vorwiegend Generatorgas (S. 53), verwendet wird, welches man ebenso wie die zu seiner Verbrennung notwendige Luft in sog. Wärmespeichern (Regeneratoren) vorwärmt und dann in Form einer das Schmelzgut bestreichenden Stichtlamme im Schmelzraume (Herde) selbst verbrennen läßt, und zwar nur mit so viel vorgewärmter Luft, wie gerade zur vollständigen Verbrennung und zur Herbeiführung der metallurgischen Reaktionen im Herde jeweilig erforderlich ist.

Der Siemens-Martinofen. Das Herdfrißverfahren geht in einem Martinofen vor sich. Martinöfen werden feststehend oder kippbar ausgeführt. Abb. 8 und 9 stellen einen feststehenden Martinofen im Längs- und Querschnitt dar. Dieser besteht aus

dem Herd H mit den seitlich davon angeordneten Brennköpfen, den zwei Paar Wärmespeichern für Luft und Gas, den Umsteuerventilen für Luft und Gas und dem Kamin. Der muldenförmige Herd H wird von starken gußeisernen Platten getragen und ist, soweit er mit dem geschmolzenen Eisen und der Schlacke in Berührung kommt, bei basischen Öfen mit Dolomit oder Magnesit, bei sauren Öfen mit Quarz ausgefüttert.

Die basische Ausfütterung muß von dem äußeren feuerfesten sauren Ofenmauerwerk durch schwer schmelzbare Magnesitsteine oder Chromeisensteine getrennt sein, da sonst ein Zusammenschmelzen der basischen und sauren Teile stattfinden würde. Der Herd wird begrenzt durch die Vorderwand mit den verschließbaren Öffnungen o zum Einsetzen der Rohstoffe, durch die Rückwand mit dem Stichloch a zum Abstechen des fertigen Flußeisens und an seinen Stirnseiten durch die Brennköpfe, welche die Kanäle (Züge) für Zufuhr von Gas und Luft enthalten. Die Wände in ihren oberen Teilen, das Deckengewölbe und die Brennköpfe, die sämtlich aus Silikaziegeln bestehen, sind, da sie sich in der Hitze sehr ausdehnen, durch starke Verankerungen zusammengehalten. Durch die Züge in den Brennköpfen ist der Herdraum mit den unter ihm liegenden Wärmespeichern verbunden. Diese bilden mit einem Gitterwerk feuerfester Steine ausgefüllte Kammern, von denen die beiden größeren zur Vorwärmung der Luft, die beiden kleineren zur Vorwärmung des Gases dienen. (In Abb. 8 sind die beiden rechten Wärmespeicher durch die Vorderwand verdeckt.) Die Wärmespeicher sind durch unterirdische Kanäle mit den Umsteuerventilen für Luft und Gas verbunden. Ebenso verbinden Kanäle die Umsteuerventile mit dem Kamin.

Das in den Generatoren erzeugte oder sonstwie erhaltene Gas (Koksofengas, Naturgas) wird meist noch in einem großen Behälter oder dergleichen gesammelt, ehe es den Martinöfen zugeführt wird.

Wir wollen nun den Weg des Gases und der Luft sowie den

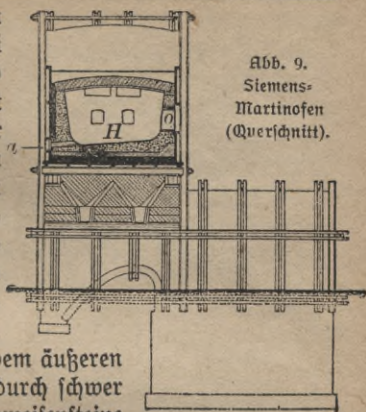


Abb. 9.
Siemens-
Martinofen
(Querschnitt).

der Verbrennungsgase in einem einzelnen Martinofen (vgl. Abb. 8) verfolgen. Das Gas strömt zunächst durch das Gasventil in den höherheizten Wärmespeicher G_1 , die Luft durch das Luftventil in den daneben liegenden, ebenfalls höherheizten Wärmespeicher L_1 . Hier erwärmen sich beide stark an den glühenden Steinen des Gitterwerks und gelangen mit hohen Temperaturen, immer noch streng voneinander getrennt, durch die Züge in den Herd, und zwar die Luft oberhalb des Gases, weil sie schwerer ist als dieses und sich so besser mit ihm vermischt. In Abb. 8 ist der Zug für die Luft auf der linken Seite des Ofens durch gestrichelte Linien angedeutet, ebenso der Gaszug auf der rechten Seite. Im Herde selbst findet dann die Verbrennung des Gases statt, bei der so hohe Temperaturen erzeugt werden, daß auch das kohlenstoffarme Flußeisen nicht nur geschmolzen bleibt, sondern auch die für das Vergießen notwendige Überhitzung erfährt. Die heißen Verbrennungsgase ziehen dann weiter durch die gegenüberliegenden Züge in die Wärmespeicher G_2 und L_2 (in der Abbildung verdeckt), heizen diese und gehen schließlich zur Esse. Nach einer gewissen Zeit sind G_2 und L_2 stark erhitzt, G_1 und L_1 dagegen durch das kalte Gas bzw. die kalte Luft abgekühlt. Nun werden die Ventile umgestellt, Gas und Luft gehen jetzt den entgegengesetzten Weg, d. h. erst durch die rechten Kammern, in denen sie die Wärme aufnehmen, und dann in den Herd, wo die Verbrennung stattfindet. Von hier ziehen die verbrannten heißen Gase durch die Züge der Brennköpfe in die linken Kammern, an die sie die Wärme abgeben, und entweichen dann durch die Esse. Das Umsteuern wird je nach Bedarf vorgenommen, meist in Zeitabständen von 20—30 Minuten.

Ebenso wie beim Windfrischverfahren benutzt man auch bei dem Martinverfahren, soweit es sich um Massendarstellung von Flußeisen und Flußstahl handelt, hauptsächlich nur basisches Futter, um den gefährlichen Phosphor aus dem Eisen entfernen zu können; vom basischen Verfahren wird hier auch nur die Rede sein. Das heutige basische Martinverfahren ist kein so einheitlich durchgeführter Prozeß, wie z. B. das Thomasverfahren; es gibt vielmehr eine ganze Anzahl verschiedener Ausführungsarten, von denen die verbreitetsten das Schrottroheisenverfahren (kurz Schrottverfahren) und das Roheisenerzverfahren sind.

Das Schrottrohisenverfahren. Dieses ist das älteste und ursprüngliche Martinverfahren. Es beruht auf dem Schmelzen und Frischen von 15—35 % Roheisen zusammen mit 85—65 % Schrott, d. h. altem Eisenmaterial bzw. Abfällen der Eisendarstellung und -verarbeitung, die in allen eisenverbrauchenden Ländern in ungeheurer Menge zur Verfügung stehen. Als Frischmittel wirken bei dem Schrottverfahren namentlich der in der Flamme enthaltene Luftsaurestoff, und zwar vorwiegend auf dem Wege über die entstehende Schlacke, ferner der Sauerstoff fester Eisenoxyde, die in Form von Erzen, Walzsinter u. dgl. zur Beschleunigung der Oxydation zugegeben werden, endlich auch der Sauerstoff des am Alteisen haftenden Rostes. Durch Oxydation oder auf sonstige Weise werden durch den Martinprozeß besonders Kohlenstoff, Silizium, Mangan, Phosphor und Schwefel aus dem Eisen in mehr oder weniger großen Mengen entfernt. Kupfer, Arsen und Zinn sind nicht aus dem Eisen herauszubringen, dürfen daher nur in unschädlichen Mengen in den Rohstoffen enthalten sein. Zur Abscheidung von Phosphor, Schwefel und Silizium ist ein Zuschlag an Kalk erforderlich.

Für das Herdofenfrischen ist im Gegensatz zum Windfrischen ziemlich jedes Roheisen von beliebiger Zusammensetzung verwendbar, allerdings beeinflussen die darin enthaltenen Elemente mit ihrer Menge stark den Verlauf des Prozesses. Eine große Rolle spielt auch hier wieder der Kohlenstoff. Das durch die Oxydation sich bildende Kohlenoxyd steigt in Blasen aus dem Eisenbade auf und bringt dasselbe in starkes Wallen. Dies ist von großer Wichtigkeit für das Gelingen des Prozesses, denn hierdurch werden alle Teile des Bades mit der wärmegebenden oxydierenden Flamme in Berührung gebracht, so daß überall gleichmäßig die chemischen Reaktionen durch die Einwirkung des Sauerstoffs erfolgen können. Silizium oxydiert sehr leicht, befördert wegen der dabei entstehenden großen Wärmemengen das Einschmelzen und erleichtert die Schlackenbildung. Andererseits ist in vielen Fällen ein hoher Siliziumgehalt nicht wünschenswert, weil schon an und für sich durch die Zuschläge und dergleichen genügend Kieselsäure in den Ofen gelangt. Außerdem vermindert ein zu hoher Siliziumgehalt die Wirkung der unbedingt erforderlichen basischen Zuschläge. Unerwünscht ist in den mei-

sten Fällen ein Phosphorgehalt über 0,5%, weil er darüber hinaus nur schwierig zu entfernen ist ohne Anwendung einer größeren Menge von Kalk und oxydischem Eisenerz, Stoffen, welche den Wärmebedarf erhöhen und die Chargendauer verlängern. Mangan wirkt günstig, denn es hat die sehr willkommene Eigenschaft, daß es einen großen Teil des durch Verbrennung gebildeten Eisenoxyns wieder reduziert und daß es wie im Roheisenmischer den größten Teil des Schwefels bindet und als Mangansulfid in die Schlacke geht. Sind die im Roheisen enthaltenen Fremdstoffe annähernd in der Menge darin enthalten, daß sie der oxydierenden Einwirkung der Flamme auf das Eisen die Wage halten und daß kein Erzzuschlag nötig ist, so erzielt man beim Schrottroheisenprozeß die günstigsten Betriebsergebnisse.

Vor Beginn einer jeden Charge, die bei größeren Einsätzen 6—8 Stunden erfordert, wird der Ofen an den schadhafsten Stellen schnell ausgebessert. Das Einsetzen der Rohstoffe geschieht bei kleineren Öfen wohl noch von Hand, bei großen mit 15—50 t Einsatz und darüber würde dies jedoch zu langwierig und kostspielig sein und auch durch die große Hitze im Ofeninnern sehr erschwert werden. Man hat daher die menschliche Arbeit hier durch Maschinen ersetzt, die Einsetz- oder Beschickmaschinen (auch Chargiermaschinen) genannt werden. Diese sind neuerdings meist in Form von elektrisch angetriebenen hängenden Kranen ausgeführt und fahren vor der Front der Martinöfen auf und ab. Sie packen mit einer langen Schubstange rechteckige eiserne Kästen (Mulden), in welche die Rohstoffe gelegt sind, schieben die Mulden durch die Einsattüren in den Herd, kippen ihren Inhalt über demselben aus und ziehen sie wieder aus dem Ofen heraus. Vor dem Eisen wird der als Zuschlag notwendige Kalk in den Ofen gesetzt. Das Einschmelzen der Eisenmaterialien erfordert etwa 3—4 Stunden. Bald beginnt dann das Kochen des Bades durch das aufsteigende Kohlenoxyd. Die Kochperiode erreicht nach einer halben Stunde ihren Höhepunkt und ist nach einer weiteren halben Stunde beendet. Durch wiederholte Schöpfproben überzeugt man sich mehrfach von der Güte des erzielten Erzeugnisses, gibt, wenn erforderlich, noch Kalk- oder Erzzuschläge oder setzt, wenn die Entkohlung bereits zu weit vorgeschritten war, zur

Anreicherung von Kohlenstoff Ferrromangan oder Spiegeleisen hinzu. Um harte Flußeisensorten mit höherem Kohlenstoffgehalt, also Flußstahl, zu erzeugen, braucht die Entkohlung nicht bis zu Ende durchgeführt zu werden, sofern die Einsatzstoffe nur wenig Phosphor enthielten. Bei dem langsamen Verlauf des Prozesses kann man viel leichter als bei dem Windfrischverfahren durch Probenehmen rechtzeitig den erwünschten Kohlenstoffgehalt feststellen.

Zur Desoxidation und Kohlung verwendet man wie beim Windfrischen für weiche kohlenstoffarme Flußeisensorten hochprozentiges Ferrromangan in Mengen von 0,5—1% des Einsatzes, bei härteren Qualitäten auch noch mehr oder aber Spiegeleisen, unter Umständen auch Ferrosilizium, letzteres besonders für dichten gasfreien Stahl. Hat das Erzeugnis die gewünschte Zusammensetzung und die richtige Gießhöhe, so wird das Abstichloch geöffnet, und der glühende Strom des Flußeisens ergießt sich in die unter die Abstichrinne gefahrene Pfanne, mit der das Martinflußeisen in die Kokillen gefüllt wird (vgl. S. 96).

Das Roheisenerzverfahren. Bei diesem Martinverfahren setzt man flüssiges Roheisen in den Ofen ein und frischt dasselbe nicht nur durch den sauerstoffreichen Gasstrom, sondern gleichzeitig durch oxydische Eisenerze, deren Anteil etwa 18—25% des Roheiseneinsatzes beträgt. Dabei wird also das Eisen aus den Erzen reduziert und gewonnen. Das flüssige Roheisen entnimmt man meist nicht unmittelbar dem Hochofen, sondern läßt es vorher wie beim Windfrischen durch den Mischer gehen. Zuerst werden Erz und Kalkstein in den Ofen gesetzt und erhitzt, und dann wird das flüssige Roheisen darauf gegossen. Das Bad gerät infolge der heftigen Reaktionen alsbald in lebhaftes Schäumen. Allmählich senkt es sich jedoch, und nun beginnt durch die Kohlenstoffverbrennung die Kochperiode. Der weitere Verlauf ist dann ebenso wie beim Schrottverfahren. Mit Öfen mittlerer Fassung kann man nach diesem Verfahren in 24 Stunden bei 4 Chargen etwa 100—130 t Martinflußeisen erzeugen.

Mit steigendem Phosphorgehalt des Roheisens wächst die Schwierigkeit, ein phosphorarmes Enderzeugnis zu gewinnen, weil ein Teil des Phosphors leicht wieder aus der Schlacke reduziert wird und dann in den Stahl übergeht. Diesem Übelstand

begegnet ein anderes Martinverfahren, das Bertrand-Thiel-Verfahren, bei dem der Prozeß in zwei voneinander getrennten Perioden vorgenommen wird. In der ersten Periode (Vorfrischen) werden hauptsächlich Silizium, Mangan und Phosphor entfernt und ein kleiner Teil des Kohlenstoffs. Die sehr wertvolle phosphorreiche Schlacke wird dann vom Stahl dadurch getrennt, daß man das Metall in einen zweiten tiefergehenden Martinofen ohne Schlacke abfließen läßt oder mittels Pfanne ohne Schlacke in einen danebenstehenden Ofen bringt, oder es schließlich nach dem Hoeschverfahren nebst Schlacke in eine Pfanne absticht und es nach Abgießen der Schlacke wieder in denselben Ofen zurückbringt. Der schlackenfreie vorgefrischte Stahl wird sodann unter neuem Zusatz von Erz durch weiteres Frischen von den übrigen Verunreinigungen befreit. Seit einigen Jahren hat man auch auf einzelnen Werken mit Erfolg ein Vorfrischen in großen, mit Regenerativgasfeuerung versehenen Mischern mit einem Fassungsvermögen bis zu 350 t vorgenommen. Es wird dabei durch Zusatz von Kalk und oxydischem Erz ein nicht unbeträchtlicher Teil des Siliziums und Phosphors aus dem Eisen herausgebracht, neben Mangan und Schwefel, die ja bekanntlich stets im Mischer größtenteils entfernt werden.

Eine andere Abart des Roheisenerzverfahrens ist das besonders in den Vereinigten Staaten von Amerika verbreitete Talbotverfahren. Bei diesem geht der Prozeß in einem großen kippbaren Martinofen mit einem Fassungsvermögen von 100 bis 300 t vor sich. Es wird immer nur ein Teil des erzeugten Flußeisens durch Kippen des Ofens abgegossen, sodann wird durch neuen Zusatz von Roheisen unter vorherigem Einbringen von Erzen und Kalk weitergefrischt. Die Desoxydation durch Ferrormangan kann dabei immer erst in der Pfanne erfolgen, in die das fertig gefrischte Eisen abgegossen worden war. Alle übrigen Abarten des Martinverfahrens haben entweder nur örtliche Bedeutung oder sind überhaupt nicht mehr in Anwendung. Es gehören hierher der Wittkowitz Duplexprozeß, bei dem in Birnen vorgefrischt wurde, das Daelen-Pszczolka-Verfahren, bei dem das Vorfrischen in einer Pfanne mit heißem Hochofenwind vor sich ging, das Monellverfahren mit Schlackenentfernung mitten im Prozeß selbst, schließlich das Surzyckiverfahren,

bei dem das Talbotverfahren in feststehendem Ofen dadurch zur Ausführung gebracht wurde, daß der Ofeninhalte durch mehrere übereinanderliegende Abstichöffnungen immer nur teilweise abgestochen wurde.

Durch die verschiedenen Martinverfahren werden vorwiegend weiche bis mittelharte Flußeisensorten dargestellt für Handelseisen aller Art, Draht, Feinbleche, Kesselbleche, Schiffsbleche, Träger, Eisenbahnschwellen, Lasken, Winkel und tausenderlei andere Massenerzeugnisse. Auch Flußstahl für Werkzeuge aller Art, Geschosse usw. wird im Martinofen erzeugt, endlich werden auch Sonderlegierungen darin hergestellt, wie z. B. Nickelstahl für Turbinenteile, Geschützteile, Panzerplatten u. dgl.

5. Die Darstellung des schmiedbaren Gusses oder Temperstahlgusses: Das Glühfrischen oder Tempern.¹⁾

Die Darstellung von schmiedbarem Eisen war bei allen Verfahren, die wir bisher kennenlernten, dadurch erfolgt, daß dem Roheisen im geschmolzenen Zustande gewisse Mengen seiner Nebenbestandteile, darunter besonders des Kohlenstoffs, durch Oxydation entzogen wurden. Es gibt nun auch noch ein anderes sehr altes Frischverfahren, bei dem die Oxydation des Kohlenstoffs im festen Zustande des Roheisens bewirkt wird. Es ist dies das Glühfrischen. Dieses Verfahren war schon zu Anfang des 17. Jahrhunderts bekannt und ist später im Jahre 1722 von dem bekannten Physiker und Zoologen Réaumur beschrieben worden, dessen achtzigteilige Thermometerskala wir noch jetzt in Deutschland teilweise im Gebrauch haben. Das Glühfrischen beruht darauf, daß man das zu Gußeisen umgeschmolzene Roheisen, das bereits durch Gießen in Formen in die gewünschten Gebrauchsgegenstände gebracht ist, in Eisensauerstoffverbindungen (reine oxydische Eisenerze) einbettet und das Ganze in besonderen Ofen auf etwa 900° erhitzt. Der Sauerstoff der Erze verbindet sich hierbei mit einem Teil des Kohlenstoffgehalts der

1) Die Bezeichnung Tempern für Glühfrischen und Temperstahlguß für schmiedbaren Guß wird häufig gebraucht, obwohl unter Tempern eigentlich nur ein Glühen gußeiserner Gegenstände bei Luftabschluß ohne Gegenwart von Eisenoxyden zu verstehen ist, wobei lediglich der gebundene Kohlenstoff, das Eisenkarbid, in Temperkohle übergeführt wird.

gußeisernen Gegenstände und verwandelt sie auf diese Weise in schmiedbares Eisenmaterial mit besseren Festigkeitseigenschaften. Dem Laien wird es zunächst unverständlich erscheinen, daß man dieses etwas veraltete Verfahren jetzt noch anwendet, nachdem man längst gelernt hat, Gegenstände aus schmiedbarem Eisen (Flußeisen) unmittelbar zu gießen (Stahlformguß). Dies hat aber leicht erklärliche Gründe. Alles Flußeisen legt beim Gießen in Formen, wie wir bereits aus dem 4. Kapitel wissen, unangenehme Eigenschaften an den Tag, wie z. B. das Lunkern und Schwinden, wodurch der Stahlformguß kleiner Gegenstände mit geringen Wandstärken besonders schwierig und teuer gestaltet wird.

Das Glühfrischen geht in Öfen verschiedenster Bauart vor sich. Kleinere Sachen werden zusammen mit dem Erz in eiserne verschließbare Zylinder (Glühtöpfe) gepackt und dann in die Öfen gesetzt, größere Gegenstände werden in rechteckigen Kisten oder gemauerten Behältern im Ofen untergebracht. Sodann wird der Ofen verschlossen und langsam angeheizt, bis nach etwa 24 Stunden eine Temperatur von etwa 900° erreicht worden ist. Der Sauerstoff des Erzes verbindet sich zunächst mit dem Kohlenstoff derjenigen Moleküle eines gußeisernen Gegenstandes, die an der Oberfläche desselben liegen. Dann beginnen die benachbarten weiter nach innen gelagerten Moleküle von ihrem höheren Kohlenstoffgehalt an die bereits entkohlten etwas abzugeben, und so findet eine ständige Wanderung des Kohlenstoffs von Molekül zu Molekül von innen nach außen hin statt. Dieses Wandern geht sehr langsam vor sich, die Gegenstände müssen daher etwa acht Tage lang im Erz eingebettet liegen. Die beiden letzten Tage läßt man allmählich abkühlen. Bemerkenswert ist, daß nur der gebundene, also als Eisenkarbid (Fe_3C) im Eisen enthaltene Kohlenstoff, nicht etwa der als Graphit vorhandene durch den Sauerstoff des Erzes beim Glühfrischen beeinflusst wird. Das Eisenkarbid wird durch das Glühen zuerst in Eisen (Ferrit) und Temperkohle zerlegt, dann wird die Temperkohle oxydiert. Infolgedessen eignet sich zum Glühfrischen nur ein Gußeisen, das möglichst wenig Graphit und viel gebundenen Kohlenstoff enthält. Ein solches Gußeisen darf aber nur durch schnelle Abkühlung, nicht etwa wegen hohen Mangangehalts viel gebundenen

Kohlenstoff haben, weil ja Mangan die Lösungsfähigkeit des Eisens für Kohlenstoff erhöht, daher der Temperkohlebildung beim Glühfrischen entgegenwirken würde. Der Siliziumgehalt des Temperroheisens muß mittelhoch sein (etwa 0,5—1%). Ein zu hoher Siliziumgehalt würde ja Graphitabscheidung im Roheisen bewirken, ein zu niedriger dagegen der Temperkohlebildung nicht genug Vorschub leisten und ferner eine zu starke Schwindung, daher Sprödigkeit der Tempergußstücke hervorrufen.

Aus Temperstahlguß werden besonders Gegenstände mit geringer Wandstärke (möglichst zwischen 3 und 8 mm und nicht über 25 mm) hergestellt, wie z. B. Schlüssel aller Art, Schloßteile, Waggon- und Baubeschlagteile, Hebel, Kurbeln, Hufeisen, Teile von landwirtschaftlichen Maschinen,ittings, Flanschen für Rohrleitungen usw.

B. Die Darstellung veredelten schmiedbaren Eisens.

1. Die Darstellung des Zementstahls und die Oberflächenhärtung.

Das Zementieren ist der entgegengesetzte Vorgang des Glühfrischens. Während bei letzterem der Kohlenstoff aus dem festen Eisen herauswandert, zieht er beim Zementieren in dasselbe hinein. Auf diese Weise kann man ein kohlenstoffarmes weiches Schmiedeeisen in kohlenstoffreichen Stahl umwandeln. Das Verfahren ist schon einige Jahrhunderte alt. Die Darstellung des Zementstahls ist weit teurer als die Stahldarstellung durch die üblichen Frischverfahren; jedoch kann man den Zementstahl in solcher Reinheit herstellen, daß er auch heute noch u. a. ein begehrter Rohstoff für die Tiegelstahldarstellung ist.

Zur Zementstahldarstellung benutzt man meist ein reines aus phosphorarmem Roheisen durch Puddeln hergestelltes Schweißeisen. Dieses wird in Form von 1—2 cm dicken Flachstäben in abwechselnden Lagen mit durchgeseibtem Holzkohlenklein in etwa 3 m lange gemauerte Kisten eines Zementierofens gepackt. Es stehen meist zwei Kisten im Ofen, die je etwa 8000—15000 kg Eisen aufzunehmen vermögen. Nach Füllung werden die Kisten zugemauert, sodann wird Feuer im Ofen angemacht und allmählich verstärkt, bis die Temperatur nach $1\frac{1}{2}$ Tagen auf etwa 1000° gestiegen ist. In dieser Hitze hält man den Ofen 7 bis

9 Tage; dabei wandert der Kohlenstoff aus der Holzkohle in das Eisen. Der feste Kohlenstoff hat an dieser Wanderung allerdings nur geringen Anteil, die Kohlenstoffzunahme im Eisen ist hauptsächlich auf das durch unvollkommene Verbrennung der Holzkohle entstehende Kohlenoxydgas (CO) zurückzuführen, welches in das Eisen eindringt und dabei in Kohlenstoff und Kohlenäure zerfällt nach der Gleichung: $2\text{CO} = \text{C} + \text{CO}_2$. Mehr als einen bestimmten Gehalt an Kohlenstoff nimmt das Eisen auch bei noch so langem Glühen nicht auf. Nach Beendigung der Glühzeit läßt man etwa 7 Tage hindurch langsam abkühlen. Der Prozeß erfordert also im ganzen mindestens 15 Tage, meist drei Wochen. Der aus der Kiste kommende Rohstahl ist ungleichmäßig zusammengesetzt und enthält außerdem, wenn er aus Schweiß-eisen hergestellt wurde, viel Schlacken. Er ist deswegen nicht unmittelbar verwendbar und wird daher meist noch, wie schon oben angedeutet wurde, in Tiegelu umgeschmolzen. In selteneren Fällen wird er durch Zusammenschweißen unter eingehender mechanischer Behandlung (Hämmern, Pressen oder Walzen) in Gär- oder Raffinierstahl umgewandelt, der vorzügliche Eigenschaften hat.

Eine weit größere Bedeutung wie für die Zementstahlbereitung hat das Zementieren gegenwärtig für die Oberflächenhärtung. Diese spielt bei der Herstellung solcher Gegenstände aus schmiedbarem Eisen eine besondere Rolle, die außen bedeutende Härte, innen dagegen große Zähigkeit aufweisen sollen, wie Ambosse, Laufzapfen, Panzerplatten u. a. Derartige Gegenstände stellt man aus kohlenstoffarmem, weichem, aber zähem Flußeisen her und verwandelt die Oberfläche durch Kohlenstoffanreicherung in harten Stahl. Als Zementationsmittel kommen die verschiedensten kohlenstoffabgebenden Stoffe in Betracht, wie Leuchtgas, Holzkohlen usw. Hand in Hand mit der Härtung muß eine sachgemäße thermische Behandlung durch Glühen und Abschrecken gehen, damit die infolge der langen Glühdauer bei hoher Temperatur überhitzten und daher grobkörnig und spröde gewordenen Teile wieder gleichmäßiges, feinkörniges und auch sonst günstiges Gefüge erhalten, das gute Eigenschaften verbürgt.

2. Die Darstellung des Tiegelstahls.

Die Tiegelstahldarstellung geht, wie der Name besagt, in Tiegeln vor sich. Dies sind mit einem Deckel verschließbare Gefäße mit einem Fassungsvermögen von 10—40 kg Eisen und darüber. Die Tiegel müssen sehr feuerbeständig sein, sie bestehen meist aus Gemischen von Ton, Schamotte, alten gemahlener Tiegel-scherben mit einem kohlenstoffhaltigen Stoff, wie Holzkohle, Koks, Graphit u. dgl. Das Tiegelmateriale wird, nachdem es gut durchgemischt und geknetet ist, durch Pressung in die Tiegelform gebracht. Nach sehr sorgsamer Trocknung, die viele Wochen beansprucht und in besonderen heizbaren Kammern vorgenommen wird, werden die Tiegel gleich mit dem eingesetzten Schmelzmaterial geglüht und dann sofort mit großen Zangen in den Schmelzöfen gebracht. Die Schmelzöfen sind von sehr verschiedener Bauart. Für größere Betriebe sind meist dem Siemens-Martin-Ofen ähnliche Öfen mit Wärmespeichern und Gasfeuerung in Anwendung. Auf dem horizontalen Herde dieser Öfen stehen dann die Tiegel meist zu 40—100 Stück.

Das in den Tiegeln umzuschmelzende schmiedbare Eisen muß sehr rein, vor allen Dingen frei von Phosphor und Schwefel sein, denn ersterer bleibt vollständig im Eisen, letzterer läßt sich nur zum geringsten Teile beseitigen. Puddelstahl und Zementstahl sind die bevorzugten Rohstoffe zur Tiegelstahlerzeugung, doch werden auch reiner Bessemer- und Martinstahl darin umgeschmolzen. Elemente wie Nickel, Chrom, Wolfram, Molybdän werden zur Erzeugung bestimmter hervorragender Sonderstahlsorten in vielen Fällen dem Einsatz im Tiegel zugesetzt. Die Einsätze werden meist genau abgewogen. Das Einschmelzen dauert etwa 2—3 Stunden. Da der Einsatz stets einen geringen Sauerstoffgehalt hat, sei es durch seinen Schlackenengehalt (Schweißstahl), sei es durch anhaftenden Rost und Glühspan, so bildet sich zunächst eine eisenoxydreiche Schlacke. Diese oxydiert einen Teil des Kohlenstoffs, und es entsteht unter geringem Aufwallen des Stahls etwas Kohlenoxyd (Kochperiode). Den oxydierten Kohlenstoff ersetzt sich der Stahl aber bald wieder, indem er ihn aus den Tiegelmündungen aufnimmt. Je kohlenstoffreicher die Tiegel sind, desto stärker ist auch die Kohlenstoffaufnahme. Auch Man-

gan im Stahl bewirkt starke Aufnahme von Kohlenstoff aus den Wandungen. Sind die Tiegel sehr kohlenstoffarm, so findet eine Ergänzung an Kohlenstoff nicht statt, und das Erzeugnis ist kohlenstoffärmer als der Einsatz.

Große Sorgfalt erfordert das Gießen tiegelstählerner Gegenstände, falls der Inhalt mehrerer Tiegel in eine Form zusammengegossen werden soll und man sich nicht zwischendurch einer den Inhalt vieler Tiegel fassenden Gießpfanne bedienen will. In einem einzigen ununterbrochenen Strahle muß sich der Stahl aus den einzelnen Tiegeln in die Form ergießen. Eine Unterbrechung von Sekunden genügt, daß sich ein Oxidhäutchen an der jeweiligen Oberfläche im Gußstück bildet und eine unganze Stelle darin verursacht.

Der Tiegelstahl ist zwar sehr teuer, da insbesondere die Kosten für die reinen Rohstoffe und die Herstellung der Tiegel hoch sind und der Brennstoffbedarf groß ist. Dafür ist der Tiegelstahl neben dem Elektro Stahl aber das edelste eisenhüttenmännische Erzeugnis, nicht nur weil er aus so reinen Rohstoffen gewonnen ist, sondern auch weil er bei seiner Darstellung weder mit Luft und Brenngasen noch mit großen Schlackenmengen in Berührung kommt, daher frei von Verunreinigungen aller Art ist und dichtestes Gefüge hat. Aus Tiegelstahl werden daher auch vornehmlich solche Gegenstände hergestellt, von denen man besonders gute Eigenschaften verlangt, wie hervorragende Werkzeugstähle (Schnelldrehstähle), hochbeanspruchte Konstruktionsteile, Gewehrläufe, Geschützrohre u. a.

3. Die Darstellung des Elektro Stahls.

Die Elektrizität spielt gegenwärtig eine große Rolle bei der Darstellung von Metallen. Das reinste Kupfer, ferner Aluminium, Magnesium, Kalzium, Natrium werden mit Hilfe des elektrischen Stromes gewonnen. Hierbei nützt man allerdings vorwiegend die chemischen Wirkungen des elektrischen Stromes aus (Elektrolyse).¹⁾ Auch für die Gewinnung von Eisen kann das elektrolytische Verfahren in Frage kommen. Gegenwärtig wird aber infolge der sich entgegstellenden Schwierigkeiten technischer

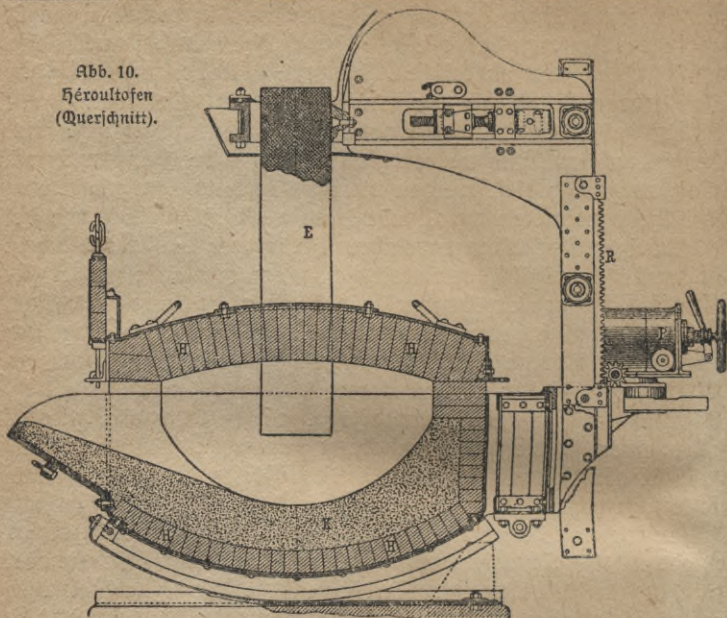
1) Vgl. Arndt, Elektrochemie (ANuG Bd. 234).

und wirtschaftlicher Art Elektrolyseisen noch in verhältnismäßig geringem Umfange dargestellt. Dagegen hat man seit einer Reihe von Jahren den elektrischen Strom als Wärmequelle zur Darstellung technisch verwerteter Eisensorten (Elektrostahl) mit immer größerem Erfolge zu verwenden gelernt. Chemische Wirkungen auf das Eisen werden hierbei durch den elektrischen Strom nicht ausgeübt; diese werden vielmehr lediglich durch Luft oder sonstige oxydierende bzw. reduzierende Stoffe ähnlich wie bei den übrigen Darstellungsverfahren hervorgerufen. Theoretisch ist es natürlich möglich, den elektrischen Strom als Heizmittel für sämtliche im vorhergehenden beschriebenen Verfahren zur Darstellung technisch verwerteten Eisens, also sowohl zur Roheisendarstellung als zur Umwandlung von Roheisen in schmiedbares Eisen durch Frischen und zur Veredelung von schmiedbarem Eisen, statt der gewöhnlichen Brennstoffe zu verwenden, praktisch stehen aber einer so weitgehenden Anwendungsmöglichkeit der Elektrizität als Heizmittel in den meisten Fällen die hohen Stromkosten entgegen. Nur in den auf S. 78 erwähnten Ausnahmefällen kommen daher elektrische Öfen als Ersatz für die bisher angewendeten Schmelzvorrichtungen in Frage. Sonst sind sie aber von großer Bedeutung zur Darstellung hochwertigen Edelstahts, wenn sie lediglich zur Ergänzung der übrigen Schmelzeinrichtungen in der Weise verwendet werden sollen, daß man ihnen nur die Schlußbehandlung des Stahts überläßt, also die Desoxydation, Entschwefelung, Kohlung, das Legieren mit den sonstigen Elementen, das Ausgarenlassen usw. Hierbei geht man bisweilen vorteilhafterweise sogar so weit, den Elektroöfen mit bereits fertig behandeltem (also gefrischtem, desoxydiertem usw.) flüssigem Martinmetall zu beschicken und dieses in dem Ofen bei hohen Temperaturen nur ausgaren und abstehen zu lassen.

In den elektrischen Öfen kommen vornehmlich zwei Arten der Heizung zur Anwendung, nämlich die Lichtbogenheizung und die Induktionsheizung. Bei der ersteren wird die Wärme durch Lichtbögen erzeugt, wie sie in kleinerem Maßstabe in den elektrischen Bogenlampen¹⁾ zwischen zwei Kohlenstäben (Elektroden) gebildet werden. Die verschiedenen, praktisch erprobten Lichtbogen-

1) Vgl. Roth, Grundlagen der Elektrotechnik (ANUG Bd. 391).

Abb. 10.
Héroultofen
(Querschnitt).



öfen, von denen sich u. a. diejenigen von Héroult, Girod, Nathusius bewährt haben, unterscheiden sich in der Hauptsache in der Art und Anordnung der Elektroden. Einen Héroultofen zeigt Abb. 10 im Querschnitt. Dieser ähnelt einem kippbaren Martinofen, bei dem die Wärmezufuhr statt durch verbrennende Gase durch elektrische Lichtbögen von oben her erfolgt. Der Schmelzherd (H) des Ofens ist aus feuerfesten Steinen aufgebaut und in einen starken Eisenblechmantel eingepanzert. Der abgerundete Boden des Herdes ruht auf gebogenen Schienen, so daß der Ofen mit Hilfe einer einfachen Vorrichtung leicht gekippt werden kann. Das Innere des Herdes ist, soweit es mit dem Schmelzgut in Berührung kommt, mit Dolomitmasse (K) ausgestampft. Die Stromzufuhr erfolgt bei Drehstrom durch drei einzeln verstellbare, vorteilhafterweise mit Selbstreguliervorrichtung versehene Kohlen- oder Graphitelektroden, die durch das Deckengewölbe von oben her in den Schmelzraum hineinragen. In Abb. 10

ist nur die vorderste Elektrode (E) zu sehen. Die wärmegebenden Lichtbögen bilden sich zwischen den unteren Enden der Elektroden und dem zu schmelzenden oder bereits flüssigen Metall durch die entstehende oder schon vorhandene dünne Schlackendecke hindurch, wobei in der Hauptsache das Metall, nur in ganz geringem Maße die Schlacke, den Strom leitet. Die Schlackenschicht ist übrigens für das Gelingen des Prozesses unbedingt notwendig, weil ohne diese der flüssige Stahl den durch den elektrischen Strom aus den Elektroden herausgeschleuderten Kohlenstoff begierig in sich aufnehmen würde. Das fertige Erzeugnis wird durch Kippen aus dem Ofen entfernt. Héroultöfen werden für Einsätze bis zu 15 t und darüber gebaut.

Der Girodofen unterscheidet sich vom Héroultöfen besonders dadurch, daß zwei verschiedenartige Elektrodengruppen vorhanden sind. Eine derselben besteht aus Kohlenelektroden, die von oben her durch das Deckengewölbe hindurch in den Herd einhängen, während die andere aus Elektroden aus weichem, schwer schmelzbarem Flußeisen gebildet wird, die von unten her durch den Boden in das flüssige Metall ragen. Die flußeisernen Bodenelektroden müssen, um vor zu schneller Zerstörung bewahrt zu werden, durch Wasser gekühlt werden.

Die Induktionsöfen, die aus dem Bestreben hervorgegangen sind, die Kohlenelektroden zu vermeiden, sind nichts anderes als für ihren Bestimmungszweck besonders ausgebildete Transformatoren.¹⁾ Sie enthalten also sämtlich einen Eisenkern und eine oder mehrere, aus zahlreichen Windungen bestehende Primärspulen; die Stelle der Sekundärspule nimmt das Metallbad selbst ein, das eine einzige kurzgeschlossene Windung in einer entsprechend geformten Schmelzrinne bildet. Hierdurch entsteht im Metall ein niedrig gespannter, aber starker Sekundärstrom, der es hoch erhitzt. Der in Deutschland am häufigsten in Anwendung stehende Induktionsofen ist der von Röchling-Rodenhauser; in geringerem Umfange werden die Öfen von Kjellin, Fried u. a. benutzt.

Einen Röchling-Rodenhauser-Ofen geben die Abb. 11 und 12 wieder. Hierin ist AA der als Rahmen (Transformatorjoch) aus-

1) Vgl. das bereits erwähnte Bändchen von Rotth (ANuG Bd. 391).

gebildete Eisentern; BB sind die zweimal vorhandenen Primärspulen an den beiden Schenkeln des Jochs und CC die beiden Schmelzrinnen, die in der Mitte zusammenkommen und dort einen breiten, für metallurgische Operationen besonders geeigneten Arbeitsherd bilden. Außer dem sekundären Induktionsstrom im

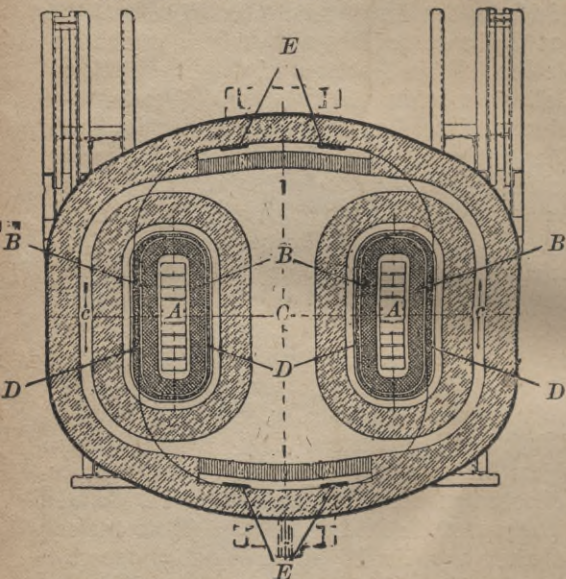


Abb. 11. Röhrling-Rodenhauser-Ofen (Horizontalschnitt).

den Polplatten zum Stromleiter, so daß neben dem unmittelbaren Induktionsstrom noch der aus den Sekundärspulen stammende Strom durch das Schmelzgut im Herde geht und dieses ebenfalls erhitzt.

Das Elektrostahlverfahren ist, wie bereits oben angedeutet, in den meisten Fällen nur in Ergänzung der Frischverfahren, also nur zur Veredelung schmiedbaren Eisens mit wirtschaftlichem Erfolge durchführbar. Es erfüllt daher ähnliche Zwecke wie das Tiegelstahlverfahren. Diesem gegenüber hat es aber einen großen Vorteil. Im Tiegel kann nur ein sehr reiner, daher teurer Rohstoff zum Umschmelzen verwertet werden, falls man ein hoch-

Schmelzgut wird noch ein zweiter sekundärer Strom gebildet, und zwar in dem aus starken Kupferbändern bestehenden, den primären Stromkreis einschließenden Wicklungen DD. Dieser Strom wird den Polplatten EE zugeführt, die aus weichem Eisen bestehen und in die Herdwandung eingebettet sind. Bei hohen Temperaturen wird die sonst nicht leitende Herdwandung vor

wertiges Erzeugnis erhalten will, und zwar aus dem Grunde, weil bei dem Verfahren die Bestandteile des eingesetzten Rohstoffs nur zum Teile daraus entfernt werden können, sich daher auch im Enderzeugnis wiederfinden. In den Elektrostahlöfen dagegen läßt sich aus bei weitem unreinerem Ausgangsmaterial ein Erzeugnis herstellen, welches dem edelsten Tiegelstahl mindestens gleichwertig ist, ein Umstand, der gerade für Deutschland, das arm an reinen Erzen ist und daher auch nur mit Schwierigkeiten hinreichend reine Rohstoffe für den Tiegelstahlprozeß gewinnen kann, von großer Bedeutung ist. Die

Darstellung zeigt ein sehr reines Material durch das Elektrostahlverfahren beruht vornehmlich auf der Möglichkeit, Luft und Brenngase dem Schmelzgut

fernzuhalten, sowie einer schnellen, starken Heizung und genauen Temperaturregelung.

Der Elektrostahl wird seiner hervorragenden Eigenschaften wegen besonders zur Herstellung von Werkzeugstählen, für Flugzeug- und Automobilteile, hochbeanspruchten Stahlformguß usw. verwendet. Große Bedeutung hat er auch für Kriegsmaterial aller Art, wie Infanterieschutzschilde, Schützenblenden, Stahlhelme u. dgl. m.

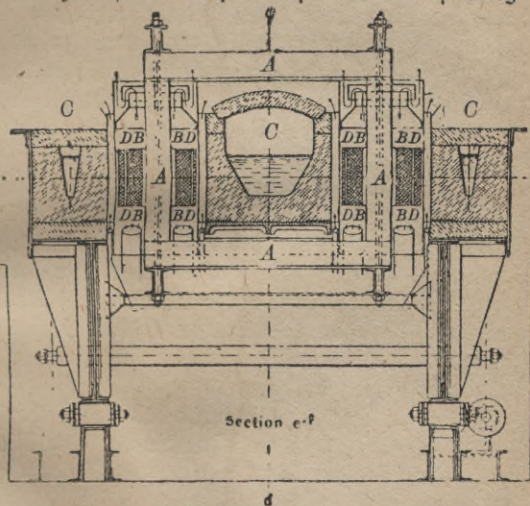


Abb. 12. Röchling-Rodenhauser-Ofen (Vertikalschnitt).

Elftes Kapitel.

Die Formgebung und die mechanische und thermische Behandlung des Eisens.

Um die Erzeugnisse der in den vorhergehenden Kapiteln beschriebenen Darstellungsverfahren in bestimmte, für den jeweiligen Verwendungszweck geeignete Formen zu bringen, bedürfen jene noch eingehender Formgebungsarbeiten. Die Beschreibung der letzteren und alles dessen, was damit zusammenhängt, gehört eigentlich ins Gebiet der mechanischen Technologie und fällt nicht mehr in den Rahmen des Eisenhüttenwesens. Da indessen die Formgebung stets mit einer mechanischen oder thermischen Behandlung zusammenfällt und durch diese, wie wir aus dem dritten und vierten Kapitel wissen, die Eigenschaften des Eisens in hohem Grade beeinflusst werden, sollen im folgenden die wichtigsten hierher gehörigen Verfahren kurz gestreift werden. Es sind dies das Schmieden, Pressen und Walzen einerseits und das Gießen andererseits. Durch die zuerstgenannten drei Verfahren kann man nur das schmiedbare Eisen, durch das Gießen dagegen sowohl schmiedbares als auch Roheisen (Gußeisen) in die gewünschten Gebrauchsformen bringen.

Schmieden. Das Schmieden ist das älteste Verfahren zur Formgebung des Eisens. Es beruht, wie ein jeder leicht in einer Dorfschmiede beobachten kann, einfach auf Zusammendrücken des auf dem Amboss liegenden glühenden Eisenstückes durch Hammerschläge. Je größer das zu bearbeitende Stück ist, desto schwerer muß der Hammer sein, um die richtige Schmiedewirkung in jedem Teile des Stückes zu erzielen. So gibt es denn von dem kleinsten mit der Hand geschwungenen Hammer aufwärts alle Größen bis hinauf zu dem mächtigen Dampfhammer von 150 000 kg Fallgewicht. Aber selbst mit solch ungeheuren Kolossen, die mit ihren Schlägen in der ganzen Nachbarschaft starke Erschütterungen hervorrufen, erreicht man bei sehr großen Schmiedestücken nicht die gewünschte Wirkung. Das ist leicht erklärlich, denn das zu bearbeitende Material gebraucht eine gewisse Zeit, um der Druckwirkung bis ins Innere hinein nachzugeben. Je dicker das Stück ist, desto längere Zeit beansprucht

es naturgemäß hierfür. Ein Hammerschlag ist aber von kurzer Dauer und so wirkt er mehr auf die zur Oberfläche hin liegenden Teile als auf den inneren Kern eines großen Stücks. Die Dampfhämmer, die auch sonst noch Nachteile haben, sind daher vielfach in letzter Zeit durch die Schmiedepressen verdrängt worden, vor allem da, wo es sich um die Bearbeitung sehr großer Stücke handelt.

Pressen. Die durch Wasserdruck (hydraulisch) betriebenen Schmiedepressen wirken im Gegensatz zu den kurzen wuchtigen Hammerschlägen durch langsamen und ruhigen, aber gewaltigen Druck, der bis in den innersten Kern des Schmiedestücks eindringt. Man hat Pressen in Betrieb, die einen Druck bis zu 14 Millionen Kilogramm auszuüben vermögen. Mit einem einzigen Druck der Presse kann man die Wirkung mehrerer Schläge des Dampfhammers ersetzen und erspart daher Zeit- und Arbeitsverluste. Zudem werden die schädlichen und die Umgebung belästigenden Erschütterungen gänzlich vermieden und die zur Abschwächung derselben erforderlichen sehr starken Fundamente können durch leichter gebaute ersetzt werden. Die Pressen werden hauptsächlich zur Verarbeitung solcher schweren Flußeisenblöcke verwendet, aus denen große Wellen, Geschützrohre u. dgl. hergestellt werden.

Walzen. Das dritte Verfahren zur Formgebung und gleichzeitigen mechanischen Bearbeitung des schmiedbaren Eisens durch Druck ist das Walzen. Hierbei wird das Eisen oft in vollständig gebrauchsfertige Formen gebracht. Auf den Hüttenwerken walzt man Stabeisen (Quadrat-, Flach-, Band-, Rundeisen), ferner die verschiedenartigsten Schienen für alle Eisenbahnen (auch Straßen- und Grubenbahnen), Profileisen und Träger für Bauwerke aller Art, dann Draht bis herab zu 4 mm Durchmesser, alle Arten Bleche von den feinsten unter 1 mm dünnen bis hinauf zu den 200 bis 300 und 400 mm starken Panzerplatten, ferner zahlreiche Arten Rohre, schließlich Eisenbahnradreifen (Bandagen) u. a. m. Alle diese Erzeugnisse bezeichnet man als Fertigfabrikate. Außerdem werden auch noch die verschiedensten Halbfabrikate gewalzt, z. B. große Blöcke mit quadratischem und Brammen mit rechteckigem Querschnitt, Knüppel (Stäbe von mittelgroßem Querschnitt) und Platinen (Flachstäbe).

Beim Walzvorgang wird das zu bearbeitende Stück im allge-

meinen in zwei wagerecht liegende, sich entgegengesetzt drehende zylindrische Körper (Walzen) eingeführt, in Folge der Reibung von diesen erfaßt und durch sie hindurchgezwingt. Dabei wird

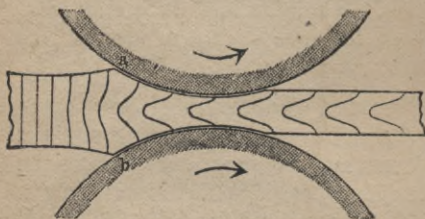


Abb. 13. Walzvorgang.

den darin gelagerten Walzen nennt man Walzwerk, eine Reihe von Walzwerken, die zur Darstellung

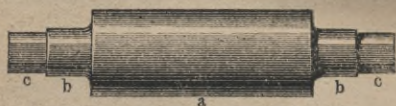


Abb. 14. Glatte Walze.

Die Walzen haben folgende Hauptbestandteile: den Bund oder Ballen a, die Laufzapfen b und die Kupplungszapfen c (Abb. 14).

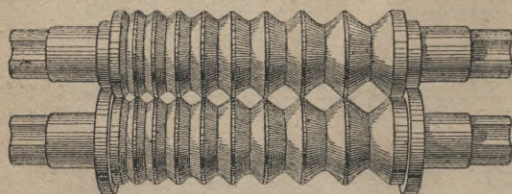


Abb. 15. Kaliberwalzen.

Die durch jene Furchen zwischen den beiden Walzen gebildeten Hohlräume heißen Kaliber. Mit den glatten Walzen werden plattenförmige Körper (Bleche) erzeugt, mit den Kaliberwalzen Körper mit bestimmten Profilen (Schienen, Träger u. v. a.).

Als Ausgangsprodukt der zu erzeugenden Gegenstände im Walzwerk benutzt man im allgemeinen die im Thomas- oder

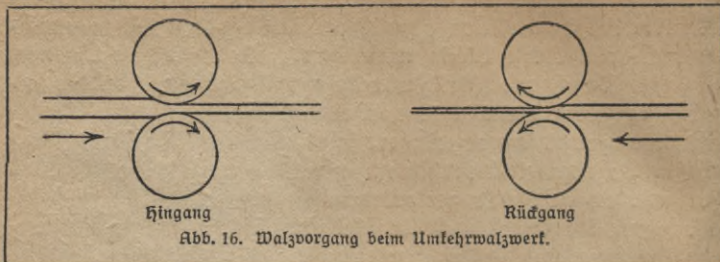
das Stück unter Querschnittsverminderung zusammengedrückt und gestreckt (Abb. 13). Die Walzen liegen mit ihren Laufzapfen in kräftigen eisernen Gestellen, den sog. Walzenständern (Abb. 18), von denen mindestens je zwei ein Walzgerüst bilden. Ein Walzgerüst mit notwendig zusammengehören, bilden eine Walzenstraße. Eine Walzanlage in ihrer Gesamtheit bezeichnet man ebenfalls als Walzwerk.

Der Ballen einer Walze kann entweder wie in Abb. 14 ein glatter Zylinder sein oder er enthält wie bei den beiden Walzen in Abb. 15 ringsum laufende Furchen.

Martinwerk in Kokillen gegossenen Blöcke von meist prismatischer Gestalt. Diese Blöcke kann man natürlich nicht mit einem einzigen Durchgang (Stich) durch ein Walzenpaar in die gewünschte Form, etwa in eine Eisenbahnschiene, bringen. Wollte man dies gewaltsam erzwingen, so würden die Blöcke trotz ihrer großen Dehnbarkeit im erhitzten Zustande zerreißen oder die Walzen würden in Stücke zerspringen. Andererseits kann man die Blöcke im Stahlwerk nicht in Kokillen mit so geringem Querschnitt gießen, daß sie leicht mit einem einzigen Stich in das fertige Enderzeugnis gebracht werden können. Das würde auch gar keinen Zweck haben, weil das Material dann nicht hinreichend durchgearbeitet werden würde. Das Walzgut muß also unter allen Umständen unter allmählicher Querschnittsveränderung gestreckt werden. Dabei kühlt es sich naturgemäß mehr und mehr ab, so daß es in vielen Fällen zwischendurch mehrmals erhitzt werden muß. Um die Kosten hierfür zu sparen, muß man darauf bedacht sein, das Walzen so schnell wie möglich durchzuführen, damit das Walzgut vom Rohblock bis zum Fertigerzeugnis womöglich in einer einzigen Hitze vonstatten gehen kann. Durch die Dervollkommnung der Walzvorrichtungen und der Transportmittel beim Walzwerksbetriebe hat man dieses Ziel in vielen Fällen erreicht.

Bei Massenherstellung mancher Halb- und Fertigfabrikate wendet man zur Beschleunigung der Walzarbeit mit großem Vorteil die kontinuierlichen Walzwerke an, bei denen in bestimmter Anordnung eine große Zahl von Walzgerüsten aufgestellt ist. In jedem derselben wird das Walzgut nur einmal durchgewalzt, um dann sogleich zum folgenden Walzgerüst weitergegeben zu werden und dort einen geringeren Querschnitt zu erhalten, bis schließlich die gewünschte Endform erzielt ist. Für Gegenstände, die nicht in sehr großen Mengen verwalzt werden, würde die Anlage und der Betrieb eines kontinuierlichen Walzwerks naturgemäß viel zu kostspielig werden. Deswegen bringt man das Walzgut in solchen Fällen mehrmals durch ein und dasselbe Gerüst, indem man den zwei oder drei darin befindlichen Walzen wie in Abb. 18 eine ganze Reihe von Kalibern gibt, von denen jedes einen geringeren Querschnitt als das danebenliegende hat.

Je nachdem in einem Walzgerüst zwei oder drei Walzen über-



einanderliegen, spricht man von Zwei- oder Duowalzwerken bzw. Drei- oder Triowalzwerken. Bei einem Zweiwalzwerk, dessen Walzen ständig nach einer Richtung liefen, müßte das Walzgut, nachdem es durch die Walzen gegangen ist, immer wieder oberhalb des Walzwerkes oder neben ihm zurückgegeben werden, um von neuem hindurchgeschickt zu werden. Dies würde aber große mit Abkühlung des Materials verbundene Zeitverluste bedeuten, außerdem würde sich dies bei sehr großen Stücken, wie schweren Blöcken und Panzerplatten, nur schwierig bewerkstelligen lassen. Daher richtet man Zweiwalzwerke oft als sog. Keh- oder Reversierwalzwerke ein, bei denen die Drehungsrichtung der Walzen nach jedem Durchgange des Stücks durch Umsteuerung der Antriebsmaschinen umgekehrt wird (Abb. 16). Will man das Umsteuern der Walzen umgehen, so kann man zur Vermeidung von Zeitverlusten statt der Keh-Zweiwalzwerke die Dreiwalzwerke anwenden. Bei diesen findet die Drehung, wie aus der Skizze Abb. 17 hervorgeht, stets nach derselben Richtung hin statt. Hierbei läßt man das Walzgut zuerst durch die beiden unteren Walzen hingehen, dann durch die beiden oberen wieder zurück.

Die Walzen werden durch die sog. Walzenzugmaschinen mittels Zahnradübertragung in Umdrehung versetzt. Die Betriebskraft für diese Maschinen ist Dampf oder Elektrizität. Die Abb. 18 veranschaulicht den Antrieb eines Dreiwalzwerks. Hierin bezeichnet man die drei mit Winkelzähnen versehenen Zahnräder, die in einem besonderen Gerüst (m) liegen, mit Kammwalzen. Die mittlere dieser Kammwalzen wird direkt von der Walzenzugmaschine angetrieben. Sie versetzt durch Eingreifen ihrer Zähne auch die beiden übrigen Kammwalzen in Drehung. Alle drei

Kammwalzen sind durch Kupplungen mit den drei Arbeitswalzen verbunden und übertragen dadurch ihre Drehbewegung auf jene.

Neben den Walzwerken mit wagerecht und parallel gelagerten Walzen gibt es noch die verschiedensten Sonderwalzwerke, wie z. B. Universalwalzwerke, die neben den wagerechten Walzen auch noch senkrechte haben und zur Herstellung sehr langer Blechstreifen von rechtwinkligem Querschnitt und scharf begrenzten Kanten dienen, ferner das Grenz- und das Saßwalzwerk zur Herstellung großer H -Träger, dann Walzwerke für Eisenbahnradreifen (Bananen) und Eisenbahnscheibenräder, schließlich solche zur Herstellung nahtloser Röhren nach dem Mannesmannschen und Ehrhardtschen Verfahren u. a. m.

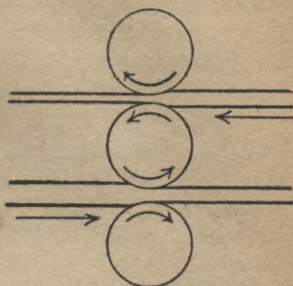


Abb. 17.

Walzvorgang beim Dreivalzwerk.

Eisen- und Stahlgießerei. Bei der Eisengießerei schmilzt man die im Hochofen dargestellten Gießereiroheisensorten meist in sog. Kupolöfen, in besonderen Fällen auch in Flamm- oder Tiegelöfen zu einem Gußeisen von der gewünschten Zusammensetzung um. Ein Kupolofen ist weiter nichts als ein großer Zylinder mit einem Durchmesser von $\frac{1}{2}$ –1 m. Er ist aus feuerfesten Steinen aufgebaut und wird mit einem Mantel aus Eisenblech zusammengehalten. Zur Beschickung hat der Ofen im oberen Teile eine Gichtöffnung, die für gewöhnlich 4–6 m über dem Abstichloch liegt. Im unteren Teile hat er ähnlich wie ein

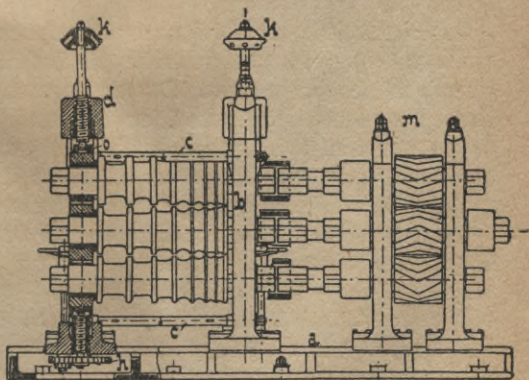


Abb. 18. Dreivalzwerk.

Zur Beschickung hat der Ofen im oberen Teile eine Gichtöffnung, die für gewöhnlich 4–6 m über dem Abstichloch liegt. Im unteren Teile hat er ähnlich wie ein

Hochöfen Winddüsen, jedoch meist mehr als ein solcher. Durch diese wird der kalte Gebläsewind unter geringem Druck und in verhältnismäßig großer Menge mittels sog. Kapselgebläse oder Ventilatoren eingepreßt. Verhältnismäßig große, wenig gepreßte Windmengen sind notwendig, weil in dem Ofen ja keine Reduktion, sondern lediglich eine Umschmelzung stattfinden und dementsprechend im Gegensatz zum Hochöfen viel Kohlendioxid und wenig Kohlenoxyd aus dem Koks entwickelt werden soll. Unterhalb der Düsen befindet sich der Schlackenstich und am Boden des Ofens das Abstichloch für das geschmolzene Eisen.

Das umzuschmelzende Roheisen wird einschließlich des die Schmelzhitze erzeugenden Koks und eines Kalkzuschlags, der der an den Roheisenmasseln haftenden Sand sowie den Aschengehalt des Koks verschlacken und den Schwefel binden soll, oben durch die Beschickungsöffnung in den Ofen gegeben. Das umgeschmolzene Eisen (Gußeisen) wird aus dem Kupolofen in eine größere tragbare oder fahrbare Gießpfanne abgestochen. Aus dieser wird es entweder unmittelbar in die Formen abgegossen oder durch Schöpfen mittels großer Gießlöffel in die Formen gefüllt.

Zur Herstellung der Gußwaren benutzt man im allgemeinen einmalige Gußformen, d. h. solche, die nach Beendigung des Gusses wieder zerstört werden. Nur ausnahmsweise macht man von dauernden Gußformen aus Eisen Gebrauch, z. B. bei sog. Hartguß, bei dem durch die plötzliche Abkühlung an der eisernen Form die außen gelegenen Teile des flüssigen Roheisens zu hartem weißem Eisen erstarren, während das Innere langsam zu grauem Eisen kristallisiert. An die Stoffe, aus denen die einmaligen Gußformen hergestellt werden, stellt man verschiedene Anforderungen. Sie müssen zunächst bildsam sein, damit man sie in bestimmte Gestalt bringen kann, sodann müssen sie dem Druck des eingegossenen flüssigen Eisens standhalten können; ferner verlangt man Feuerbeständigkeit von ihnen, d. h. sie dürfen durch das glutflüssige Eisen nicht Veränderungen erleiden, durch die sie ihren Zusammenhang verlieren oder gerade umgekehrt zusammenschmelzen; schließlich müssen sie gasdurchlässig sein, damit die beim Gießen sich entwickelnden Gase nach außen entweichen können. Als Formstoffe, die diese Eigenschaften aufwei-

sen, dienen Formsande (Sande mit 5—30% Ton), ferner Lehm, d. i. ein sandiger, stark mit Eisenoxydhydrat verunreinigter Ton, schließlich die sog. Masse, eine Mischung aus gebranntem und frischem feuerfesten Ton. Den mageren (tonarmen) Formsanden wird stets Kohlenstaub zugesetzt, um beim Guß ein Zusammenfritten der einzelnen Sandkörner und ein Anbrennen derselben an das glutflüssige Eisen zu verhindern. Die Masse wird zu demselben Zweck mit Koksmehl und Graphit gemengt. Außerdem werden die Masseformen innen zur Verhinderung des Anbrennens an das Eisen stets mit Schwärze, einem graphitreichen mit Wasser angerührten Gemisch verschiedener Stoffe, überzogen. Während die aus mageren Formsanden hergestellten Formen in feuchtem Zustande mit dem Eisen gefüllt werden müssen (Formen aus „grünem Sand“), werden die Formen aus fettem Sande, Lehm oder Masse stets erst getrocknet. Hierbei würde reiner Lehm schwinden, d. h. er würde unter Rissbildung stark zusammenschrumpfen; er muß daher vorher mit Magerungsmitteln versehen sein, die dem Schwinden entgegenwirken, ohne zugleich seine Bildsamkeit zu beeinträchtigen. Am geeignetsten sind dafür Pferde- und Kuhdünger. Bei der Masse wird das Schwinden durch den gebrannten Ton verhindert. Zur Herstellung der Gußformen aus den genannten Formstoffen gibt es zwei Verfahren: die Modellformerei und die Schablonenformerei. Bei der Modellformerei bedient man sich im allgemeinen hölzerner Modelle und, wenn sie sehr oft gegossen werden sollen, auch metallener. Das Modell muß die Gestalt des zu gießenden Gegenstandes haben, aber um so viel größere Abmessungen erhalten, als das Schwindmaß des Eisens beträgt (vgl. S. 38).

Am einfachsten und billigsten ist der Herdguß, der für solche Gegenstände in Betracht kommt, die auf einer Seite durch eine ebene Fläche begrenzt sind, wie z. B. Fenstergitter u. dgl. Beim Herdguß wird ein Sandbett auf der Sohle der Gießerei ausgebreitet und die Gußform einfach durch Eindrücken des Modells in den Sand hergestellt.

Gegenstände, die sich nicht durch den Herdguß anfertigen lassen, werden durch den Kasten- oder Formguß ebenfalls mit Hilfe von Modellen hergestellt. Hierbei geht das Einformen der Modelle in Sand oder Masse innerhalb von eisernen Rahmen (Kästen) vor

sich. Die Modelle haben oftmals solche Gestalt, daß man sie aus der Form nur dann entfernen kann, wenn man sie selbst sowohl als auch die Kästen zwei- oder mehrteilig macht. Wenn ein Gußstück, wie z. B. ein Rohr, eine Höhlung erhalten soll, so erzielt man diese oft dadurch, daß man einen besonderen „Kern“ von der Gestalt des Hohlraums anfertigt und ihn nach Entfernung des Modells in die Form einsetzt.

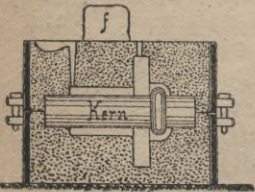
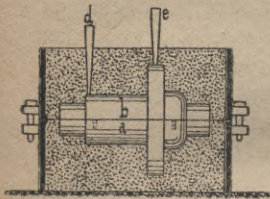


Abb. 19 bis 21.
Kastenformerei mit Modellen.

Als Beispiel für die Ausführung der Kastenformerei mag die Herstellung der Form für eine Stopfbüchse dienen, die durch die Abb. 19, 20, 21 veranschaulicht wird. Die untere Modellhälfte a wird mit der Unterseite nach oben auf das Modellbrett c gelegt und der Unterkasten umgekehrt darüber gesetzt; dann wird Formsand hineingefüllt und festgestampft (Abb. 19). Darauf wird das Ganze umgekehrt, so daß das Brett nach oben zu liegen kommt und abgenommen werden kann. Nach Glätten der Oberfläche wird die obere Modellhälfte b auf der unteren befestigt, der Oberkasten auf den Unterkasten gesetzt und mit Sand gefüllt (Abb. 20). Dabei müssen durch Einsetzen zweier kleiner Holzmodelle d und e zwei Öffnungen ausgespart werden, von denen die

erste als Einguß für das flüssige Eisen, die zweite als sog. Windpfeife dient, aus der die beim Gießen sich bildenden Gase entweichen können. Nach Entfernen der Modelle für Einguß und Windpfeife, wird ersterer oben etwas erweitert (Abb. 21), damit der Strahl flüssigen Eisens nicht von der Pfanne aus unmittelbar in die Form strömt, wodurch er sie leicht beschädigen könnte. Nach Beendigung dieser Arbeiten wird der Oberkasten wieder abgehoben, und aus beiden Kästen werden die Modelle vorsichtig unter Klopfen herausgezogen. Alsdann wird die Ausbesserung der beschädigten Stellen vorgenommen, die Form ausgestäubt und der Kern eingelegt. Darauf wird der Oberkasten wieder sorgfältig auf den Unterkasten gesetzt und mit einem

Eisenstück f beschwert, damit das flüssige Eisen beim Eingießen den Ober- und Unterkasten nicht auseinandertreibt.

Das Einformen, Ausheben und Ausbessern der Formen erfordert viel Zeit und Geschicklichkeit der Arbeiter und ist mit verhältnismäßig hohen Kosten verbunden. Um die Herstellung der Gußformen zu beschleunigen und zu verbilligen, wendet man daher bei Anfertigung größerer Mengen ein und desselben Gegenstandes vorteilhaft Modellplatten an. Eine Modellplatte ist ein Modellbrett, das mit der darauf liegenden Modellhälfte — meist sind es gleich mehrere solcher Modellhälften — fest vereinigt ist. Die Platte sowohl als die Modellhälften selbst bestehen aus Metall (Eisen oder Bronze). Auf einer zweiten entsprechenden Modellplatte befinden sich die dazugehörigen Modellhälften, und zwar so angeordnet, daß, wenn man Oberkasten und Unterkasten nach Entfernung der Modellplatten zusammensetzt, die Formhälften genau aufeinander passen. Dadurch fällt alles zeitraubende Einpassen fort. Außerdem kann man die Modellplatte durch senkrecht an ihr oder auf dem Kasten angebrachte Stifte (Dübel), die in entsprechende Löcher des Kastens oder der Platte greifen, genau senkrecht aus der Form entfernen, so daß letztere vor Beschädigungen besser bewahrt bleibt und nicht so viele langwierige Ausbesserungen nötig sind. Um das Auseinanderziehen von Modellplatten und Formen noch sicherer und schneller zu vollziehen, bedient man sich in vorteilhaftester Weise der Formmaschinen, die oft zugleich auch das Verdichten des Sandes besorgen. Die gebräuchlichsten Formmaschinen sind die Abhebe-, Wendeplatten-, Durchzieh- und Rüttelformmaschinen.

Das zweite Verfahren der Formerei, die Schablonenformerei, wird meist zur Herstellung solcher großen Körper verwendet, deren Form im Sande oder Lehm durch Umdrehung einer Schablone um eine feste Achse entstehen kann. Bei der Schablonenformerei kommen die kostspieligen Modelle in Fortfall, sie erfordert jedoch große Geschicklichkeit der Arbeiter. Aus Abb. 22 geht hervor, wie die Schablonenformerei gehandhabt wird. Es handelt sich hier um Herstellung der Unterform eines Scheibenrades. Der Unterkasten wird zunächst auf die Eisenplatte a ge-

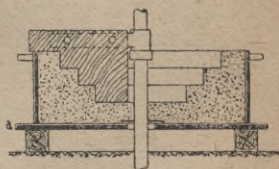


Abb. 22. Schablonenformerei.

stellt und mit dem Formstoff gefüllt. Sodann wird durch Drehe der Schablone um die Spindel, die durch die Platte a hindurchragt, die Form aus dem Sande ausgedreht.

Bei der Stahlgießerei wird das zu vergießende schmiedbare Eisen (Flußeisen, Flußstahl) im Siemens-Martin-Ofen, in der Kleinbessmerbirne, im Tiegel- oder Elektrostaßlofen erzeugt.

Siemens-Martin-Öfen zur Darstellung von Stahlguß (Stahlgußformguß) haben oft saure Ausfütterung. Die Fassung eines solchen Ofens beträgt zwischen 3 und 30 t. Siemens-Martin-Öfen sind in der Stahlgießerei nur dann wirtschaftlich, wenn sie ständig in Betrieb gehalten werden, also wenn ein möglichst großer gleichmäßiger Bedarf an Stahl vorliegt. Ist der Bedarf an Stahl geringer und sehr schwankend, so eignen sich mehr die Kleinbessmerbirnen, das sind Birnen mit saurem Futter und von geringem Fassungsvermögen (0,5—3 t). Sie ähneln den Birnen des Großbetriebes und unterscheiden sich von diesen meist nur durch die Einrichtungen für die Zuführung des Windes, der nicht von unten durch den Boden, sondern seitlich eingeblasen wird. Die Tiegelstahl- und Elektrostaßdarstellung wird angewendet, wenn Gußstücke hergestellt werden sollen, an deren Güte besonders hohe Anforderungen gestellt werden.

Wegen der hohen Schmelztemperaturen des schmiedbaren Eisens können für den Stahlguß nur widerstandsfähige Formen aus Masse benutzt werden. Der Stahlguß zeichnet sich gegenüber dem Eisenguß durch größere Festigkeit, Elastizität und Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Abnutzung aus, so daß ein Stahlgußstück gegenüber einem solchen aus Eisenguß bei gleichen Anforderungen an die Festigkeitseigenschaften geringere Abmessungen und geringeres Gewicht haben kann.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

Sachverzeichnis.

- Abschrecken 28, 41
 Abstechen 78
 Abstichloch 70, 78
 Agglomerieren 61
 Analyse, thermische 26
 Anbrennen 123
 Anlassen 29
 Anlaufzustände 29, 35
 Anthrazit 49
 Arbeitseigenschaften des
 Eisens 32
 Arsenkies 55
 Ätzen 23
 Aufbereitung (Erz-) 62
 Austenit 28, 35
 Automatische Begichtung
 72
 Bäckkohlen 49
 Ballen (der Walzen) 118
 Bandagenwalzwerk 121
 Basen 22
 Behandlung (therm. u.
 mechan.) 31, 32, 116
 Bergeversatz 81
 Bertrand-Thiel-Verfah-
 ren 104
 Beschickmaschine 102
 Bessmerbirne 88
 Bessmerroheisen 18, 45,
 80
 Bessmerverfahren 8, 88
 Bladband 58
 Blasebälge 3
 Blaubruck 40
 Blauhitze 40
 Blech 117
 Blei 77
 Blöde 117
 Bodenstein 69
 Bohnerz 57
 Bramme 117
 Brauneisenstein 56, 57
 Braunkohle 47
 Braunkohlenbriketts 47
 Braunkohlenförderung 16
 Brennköpfe 99
 Brennstoffe 46
 Brien, Erzbecken 13, 16
 Brikettierung (Erz-) 61
 Bund (der Walzen) 118
 Calorie s. Kalorie
 Chargiermaschinen 102
 Chrom 32, 33, 35, 36
 Converter s. Konverter
 Coquille s. Kokille
 Comper-Apparat 67, 68
 Daalen = Piszcolka = Ver-
 fahren 104
 Dampfhammer 116
 Dampfmaschine 6
 Darby-Verfahren 93
 Desoxidation
 beim Bessmerprozeß 92
 „ Thomasprozeß 94
 „ Martinverfahren 103
 Direkte Eisendarstellung 2
 Dolomit 94
 Drehrohröfen 62
 Dreiwälzwerk 120
 Dübel 125
 Dündelinger Verfahren 92
 Duowälzwerk 120
 Durchsehzzeit 77
 Düsenstoß 70
 Ehrhardtsches Verfahren
 121
 Einfuhr an Eisenerzen 15
 Einguß 124
 Eingußtrichter 97
 Einseßmaschine 102
 Eisen (Metall Fe) 22
 Eisen (technisches)
 Erklärung 24
 Darstellung 62
 Eisenerze
 Förderung 14
 Ein- und Ausfuhr 15
 Geringer Vorrat 16
 Zusammensetzung 54
 Vorkommen 55 ff.
 Eisengießerei 121
 Eisenglanz 56
 Eisenhüttenkunde 7
 Eisenkarbid 26, 27, 106
 Eisenkarbonat 54
 Eisenkohlenstofflegierun-
 gen 26 ff
 Eisenoxyd 54
 Eisenportlandzement 81
 Elastizität 33
 Elektrische Leitfähigkeit 35
 Elektrische Roheisendar-
 stellung 78
 Elektroden 111
 Elektrohängebahn 72
 Elektrolyse 110
 Elektrostahl 110
 Elemente (chemische) 21
 Erdgas 49
 Erdöl 49
 Erstarrungspunkt 22, 36,
 37
 Erzbriketts 61
 Erzgicht 73
 Eutektisch 37
 Eutektoid 27
 Fe (Eisenmetall 22
 Feinerze 61
 Ferrit 28
 Ferromangan 18, 80, 92
 Ferrosilizium 18, 80
 Fertigfabrikate 117
 Festigkeit 32
 Setzkohlen 49

- Flußeisen
 Geschichtliches 8
 Statistik 17, 19
 Erklärung 43
 Darstellung 88
 Formen s. Gußformen
 Formenebene 70
 Formgebung 116
 Formmaschine 125
 Formsand 123
 Formstoffe 122
 Frischeisen 4
 Frischverfahren 4, 64

 Gangarten 54
 Gärbstahl 108
 Gargang 78
 Gasblasen 38, 39
 Gasflammkohlen 48
 Gaskohlen 49
 Gansleys Verfahren 68
 Gebläse 3
 Gebläsemaschine 66
 Gefügebestandteile der
 Eisentohlenstofflegie-
 rungen 27 ff.
 Gemenge (mechan.) 24
 Gemische (physikal.) 23
 Generatorgas 53
 Geschichte des Eisens 1
 Gestell (des Hochofens) 69
 Gewerbeigenschaften 32
 Gicht 69
 Gichtaufzüge 72
 Gichtbühne 72
 Gichtgas
 Geschichtliches 7
 Zusammensetzung 52
 Verwendung 81
 Gichtstaub 61, 82
 Gichtverschluß 70
 Gießereikoks 51
 Gießereiroheisen 18, 45,
 80
 Gießtran 96
 Gießlöffel 122
 Gießpfanne 96
 Gießwagen 96

 Girodosen 113
 Gleichgewicht (chem.) 76
 Gleichungen (umkehrbare)
 75, 76
 Glühen 30
 Glühfrischen 105
 Glühtöpfe 106
 Granulieren 80
 Graphit 29
 Graues Roheisen 43
 Grauguß 45
 Grenzwalzwerk 121
 Grubenfeuchtigkeit 54
 Grüner Sand 123
 Guß (direkter und stei-
 gender) 97
 Gußeisen 45, 122
 Gußformen (einmalige
 und dauernde) 122
 Gußspannungen 32, 38
 Gußstahl s. Tiegelstahl

 Halbfabrikate 117
 Hämatit (Eisen) 45, 80,
 (Erz) 55
 Hängen der Gichten 61
 Härbarkeit 41, 44
 Härte 34
 Hartguß 122
 Härtungskohle 28
 Heizwert 46
 Herdfrischen 97
 Herdguß 123
 Héroultofen 112
 Hochofen 5, 10, 69
 Hochofengas s. Gichtgas
 Hochofenkoks 51
 Hochofenprozeß 73
 Hochofenschlade 59, 80
 Hochofenzement 81
 Hoefchverfahren 104
 Holz 47
 Holzkohle 2, 18, 50
 Holzkohlenroheisen 18, 50
 Homogene Stoffe 18

 Indirekte Eisendarstel-
 lung 4

 Induktionsheizung 111
 Induktionsöfen 103
 Ingots 97
 Inhomogene Stoffe 23

 Kaliberwalzen 118
 Kalk 60, 94
 Kalorie 46
 Kaltbearbeitung 40
 Kaltbrüchig 34
 Kammwalzen 120
 Kapselgebläse 122
 Karbidkohle 28
 Kastenguß 123
 Kehrwalzwerk 120
 Kern 124
 Kieselabbrände 18, 58
 Kieselsäure 81
 Kleinbessmerbirne 126
 Kleingefüge 26 ff.
 Klossschlade 81
 Knüppel 117
 Kohlendiorgn 46, 74 ff.
 Kohleneisenstein 58
 Kohlenorn 53, 63, 74 ff.
 Kohlenrad 69
 Kohlen säure s. Kohlen-
 diorgn
 Kohlenstoff 21, 24, 26 ff.,
 63, 74 ff., 85, 86, 94,
 101, 105 ff., 108, 109
 Kohlung
 beim Bessmerprozeß 92
 „ Thomasprozeß 94
 „ Martinprozeß 103
 Kofille 96
 Koks 5, 50, 51
 Koksdarstellung 51
 Koks erzeugung (Höhe) 16
 Koks gicht 73
 Koks kohlen 49
 Koks ofengas 52
 Kontinuierliche Walz-
 werte 119
 Konverter 88
 Körnen 80
 Korngröße 30
 Kornstruktur 31

- Korrosion 36
 Kristallisation der Legierungen 25, 26
 Kristalliten 22
 Kübelbegichtung 71, 72
 Kühlkästen 70
 Kupolofen 90, 121
 Kupplungszapfen 118
 Laufzapfen 118
 Legierungen 24
 Lehm 123
 Leitfähigkeit, elektr. 35
 Lichtbogenheizung 111
 Limonit 56
 Lösungen (flüssige und feste) 23, 24
 Luft (Zusammensetzung) 66
 Lufteinbildung 38, 106
 Lupe 2
 Luppenmachen 87
 Lümannsche Schlackenform 70
 Lagerkohlen 49
 Lagerungsmittel 123
 Lagnet Eisenstein 55
 Lagnet. Eigenschaften 36
 Lagnetit 55
 Langan 39, 44, 77, 91, 94, 101
 Langanerze 18, 59
 Lannesmannverfahren 121
 Lartensit 28
 Lartinosen 98
 Lartinroheisen 45, 80
 Lartinverfahren 77
 Lasse 123
 Lassebetten 78
 Mechanische Behandlung 116
 Meiler 50
 Metalle 21
 Metallographie 26
 Metalloide 21
 Meteorisen 54
 Mikrostruktur 26
 Minette 56, 57
 Mischer 90, 104
 Mischkristalle 24
 Modellbrett 124
 Modellformerei 123
 Modellplatten 125
 Möller 73
 Molybdän 109
 Monellverfahren 104
 Mulden 102
 Mulmige Erze 61
 Nachblasen 94
 Naturhärte 35, 44
 Netzstruktur 31
 Nichtmetalle 21
 Nickel 32, 33, 35, 36
 Oberflächenhärtung 108
 Oberkasten 124
 Oolithisches Erz 56
 Osmondit 29
 Oxidation 64
 Perlit 28, 29
 Phosphor 39, 77, 93, 109
 Phosphorsäure 93
 Physisch-chemische Gemische 23
 Platinen 117
 Polplatten 114
 Portlandzement 81
 Pressen 117
 Primärstrom 115
 Puddelofen 84
 Puddelroheisen 18, 45, 80
 Puddelschlacken 58
 Puddelverfahren 6, 83
 Purpurerz 58
 Puzzolanement 81
 Raffinierstahl 108
 Raseneisenerz 57
 Raft 69
 Reduktion 63, 73
 Regenerativgasfeuerung 98, 100
 Rennfeuer 2
 Reversierwalzwerk 120
 Röchling - Rodenhausenofen 113, 114
 Roheisen
 Geschichtliches 2
 Statistik 17
 Erklärung 42, 43
 Darstellung 65
 Zusammensetzung 80
 Roheisenerzverfahren 103
 Roheisenmischer 90, 104
 Rohgang 78
 Rohstoffe 18
 Rosten 36
 Röstfen 60
 Rotbrüchig 39
 Roteisenstein 55
 Rückkohlen 92
 Saalwalzwerk 121
 Sandkohlen 48
 Säurebeständigkeit 36
 Schablonenformerei 123, 125
 Schacht des Hochofens 69
 Schlade (Hochofen-) 59, 80
 Schlackenform 70
 Schlackenzement 81
 Schmelzbarkeit 36
 Schmelzpunkt 22, 36, 37
 Schmiedbarer Guß 105
 Schmiedbares Eisen
 Geschichtliches 2, 4 ff.
 Erklärung 42
 Darstellung 83 ff.
 Schmiedbarkeit 39
 Schmiedeeisen 43
 Schmieden 116
 Schneidstahl 46
 Schöpfprobe 94
 Schrägaufzug 71, 72
 Schrott 20, 97, 101
 Schrottroheisenverfahren 101
 Schutzoll 8, 10
 Schwärze 123
 Schwefel 77, 90, 109

- Schwefelties 56
 Schweißbarkeit 40
 Schweißbeisen
 Geschichtliches 2
 Statistik 19
 Erklärung 43
 Darstellung 82
 Schweißschlaufe 58, 74
 Schwindmaß 38, 123
 Schwindung 38, 106
 Seigerung 39
 Sekundärstrom 113
 Selbstgehende Erze 60
 Selbsthärtende Stähle 41, 44
 Siderit 57
 Siemens = Martinverfahren 9, 97
 Silizium 33, 38, 77, 85, 91, 94, 101
 Siliziumspiegel 80
 Sinterkohle 49
 Sorbit 29
 Spannungen in Gußstücken 38, 40
 Spateisenstein 57
 Sphärosiderit 58
 Spiegeleisen 18, 45, 80, 92
 Stabeisen 117
 Stahl (Erklärung) 43
 Stahlbeisen 18, 45, 80
 Stahlformguß 45, 126
 Stahlgießerei 126
 Stahlguß s. Stahlformguß
 Statistisches 14
 Staubsammler 82
 Steinkohlen 5, 47
 Steinkohlenförderung 16
 Stripperkran 97
 Stüdfen 2
 Sumpferz 57
 Surzpcverfahren 104
 Talbotverfahren 104
 Temperkohle 29, 106
 Tempern 105
 Temperguß 45
 Temperstahlguß 105
 Thermische Analyse 26
 Thermische Behandlung 116
 Thomasflußeisen 95
 Thomasphosphatmehl 96
 Thomasroßeisen 18, 45, 80
 Thomaschlade 96
 Thomasverfahren 9, 92
 Tiegel 109
 Tiegelstahl
 Geschichtliches 6
 Statistisches 19
 Erklärung 45
 Darstellung 109
 Toneisenstein 58
 Tonerde 81
 Torf 47
 Transformator 113
 Triowalzwerk 120
 Umwandlungstemperatur 27, 40, 41
 Umwandlungszone 27, 41
 Universalwalzwerk 121
 Unterlasten 124
 Verbindungen (chemische) 23
 Verbrennung 46
 Verkokung 48
 Vorfrischen im Mischer 104
 Walzen 117, 118
 Walzenstände 118
 Walzenstraße 118
 Walzenzugmaschine 120
 Walzgerüst 118
 Walzwerk 118
 Wärme 46
 Wärmeeinheit (W.-E.) 47
 Wärmespeicher 99, 100
 Warmredverfahren 39
 Weißes Roßeisen 43
 Widmannstädtensche Struktur 31
 Wind 55, 89
 Winddruck 67
 Winderhitzer 67
 Windformen 69
 Windfrischen 88
 Windkasten 89
 Windpfeife 124
 Wittowitzer Duplexverfahren 104
 Wolf 2
 Wolfram 32, 35, 46
 Zähigkeit 33
 Zeilenstruktur 31
 Zementieren 107
 Zementit 28, 35
 Zementstahl 107
 Zentrifugalreiniger 83
 Zinnschwamm 77
 Zuschlüge 18, 59
 Zweiwalzwerk 120

TEUBNERS TECHNISCHE LEITFÄDEN

In Bänden zu 8—10 Bogen. gr. 8. Geb.

Die Leitfäden wollen dem Studierenden an Technischen Hochschulen und Universitäten in knapper, wissenschaftlich einwandfreier und zugleich übersichtlicher Form das Wesentliche des Tatsachenmaterials an die Hand geben, das ihm in der Vorlesung vorgetragen wird, um ihm dessen Aneignung — besonders auch die Vorbereitung zum Examen — zu erleichtern und ihm die Anschaffung und Durcharbeitung umfänglicher und kostspieliger, in der Darstellung meist für diese Zwecke zu individuell gehaltener Handbücher zu ersparen. Auf klare Gliederung des Stoffes auch in der äußeren Form der Anordnung wie auf seine Veranschaulichung durch einwandfrei ausgeführte Zeichnungen wird besonderer Wert gelegt.

Auf dem Gebiete der Mathematik und des Maschinenbaus
sind bisher erschienen:

Bd. I. Analytische Geometrie. Von Dr. R. Fricke, Professor an der Technischen Hochschule zu Braunschweig. Mit 96 Fig. im Text. [VI u. 135 S.] 1915. Geb. M. 2.80

Bd. II. Elemente der darstellenden Geometrie. Von Dr. M. Großmann, Professor an der Eidgenöss. Technischen Hochschule Zürich. Mit 134 Fig. im Text. [IV u. 84 S.] 1917. Steif geh. . . M. 2.—

Bd. III. Darstellende Geometrie. Von Dr. M. Großmann, Professor an der Eidgenöss. Techn. Hochschule Zürich. Mit 109 Fig. [VI u. 138 S.] 1915. Geb. M. 2.80

Auf sämtliche Preise Teuerungszuschläge

Bd. IV./V. Differential- und Integralrechnung. Von Dr. L. Bieberbach, o. ö. Professor an der Universität Frankfurt. Bd. I: Differentialrechnung. Mit 32 Figuren im Text. [VI u. 130 S.] 1917. Steif geh. M. 2.80. Bd. II: Integralrechnung. Mit 25 Figuren im Text. [VI u. 142 S.] 1918. Steif geh. M. 3.40

Bd. VI. Mechanische Technologie der Maschinenbaustoffe. Von R. Escher, Professor an der Eidgenöss. Technischen Hochschule Zürich. Mit 416 Fig. im Text. [VI u. 166 S.] 1918: Steif geh. . . M. 3.60

des Verlages und der Buchhandlungen

In Vorbereitung:

Höhere Mathematik. 2 Bde. Von Dr. Rudolf Rothe, Professor an der Technischen Hochschule Berlin.

Die graphischen Methoden der Differentialrechnung. Von Dr. Gumbel, Professor an der Technischen Hochschule Berlin.

Praktische Geometrie. Von Dr.-Ing. Heinrich Hohener, Professor an der Technischen Hochschule Darmstadt.

Maschinenelemente. 2 Bde. Von Karl Kutzbach, Professor an der Techn. Hochschule Dresden.

Thermodynamik. 2 Bde. Von Geh. Hofrat Dr. Richard Mollier, Professor an der Technischen Hochschule Dresden.

Kolbenkraftmaschinen. Von Dr.-Ing. Adolf Nägel, Professor an der Technischen Hochschule Dresden.

Wasserkraftmaschinen und Kreiselpumpen. Von Oberingenieur Dr.-Ing. Franz Lawaczek, Halle.

Grundlagen der Elektrotechnik. 2 Bde. Von Dr. E. Orlich, Professor an der Technischen Hochschule Berlin.

Elektrische Maschinen. 3 Bde. Von Dr.-Ing. M. Kloss, Professor an der Technischen Hochschule Berlin.

VERLAG VON B. G. TEUBNER IN LEIPZIG UND BERLIN

S - 96

S. 61

Bergbau. Von Bergassessor F. W. Wedding. (ANuG Bd. 467.)
Geh. M. 1.20, geb. M. 1.50

Die Metalle. Von Prof. Dr. K. Scheid. 3. Aufl. Mit 11 Abb. (ANuG Bd. 29.)
Geh. M. 1.20, geb. M. 1.50

„Das vorliegende Bändchen stellt eine für den Nichtfachmann geschriebene, lichtvolle Einführung in das Reich der Metalle dar und bietet dem Leser einen ausgezeichneten Überblick über dieses große Gebiet.“ (Zeitschrift des Oberhessischen Berg- und Hüttenmännischen Vereins.)

Unsere Kohlen. Von Bergassessor P. Kufel. Mit 69 Abbildungen.
(ANuG Bd. 396.) Geh. M. 1.20, geb. M. 1.50

„Eine vortreffliche Darstellung alles Wissenswerten über die Kohlen mit Einschluß des Torfes. . . Die Textfiguren sind vorzüglich, die Karten und die Formationsgliederung des Karbons sehr übersichtlich.“
(Geologische Rundschau.)

Die Eisenindustrie. Von Prof. O. Simmersbach. Mit 92 Abbildungen.
Geh. M. 7.20, geb. M. 8.—

„. . . All das ist in ungemein anregender Form erörtert und knapp und übersichtlich, aber in mustergültig vollständiger Weise zusammengefaßt. Die guten Abbildungen und schematischen und graphischen Darstellungen tragen nicht wenig zur besseren Veranschaulichung bei.“
(Centralblatt der Hütten- und Walzwerke.)

Leitfaden der Elektrizität im Bergbau. Von Prof. Dr. Wilhelm Brüsch. Mit 411 Abbildungen im Text. Geh. M. 5.—

Der vorliegende Leitfaden sucht den Bedürfnissen der Fachschulen, sowie der bereits im Betriebe stehenden Beamten durch Berücksichtigung alles dessen Rechnung zu tragen, was im Bergbaubetriebe für die Elektrizität in Betracht kommt.

Metallbearbeitung. Von Ingenieur Dr. O. Stolzenberg. 2 Bände.
I. Arbeitsstoffe. Geb. ca. M. 6.—. II. Rohstoffe. Geb. ca. M. 10.—

Die Kraftmaschinen. Eine Einführung in die allgem. Maschinenkunde. Von Prof. Dr. K. Schreiber. Mit 56 Abb. i. T. u. auf 1 Taf. Geh. M. 3.60, geb. M. 4.20

Gibt eine Darstellung der wichtigsten Kraftmaschinen der Jetztzeit unter Bezugnahme auf die Ausnutzung der Energievorräte der Natur und auf die Kosten der gewonnenen Arbeit.

Einführung in die Elektrotechnik. Physik. Grundlagen und technische Ausführung. Von Prof. R. Rinkel. Mit 445 Abb. i. T. Geh. M. 11.20, geb. M. 12.—

„Unter den vielen Büchern über Elektrotechnik für Nicht-Fachleute nimmt das vorliegende, von einem wirklichen Sachmanne geschriebene, eine rühmliche Stellung ein, da es nicht spielerisch unterhalten, sondern ernstere Leser belehren will und kann.“ (Archiv der Mathematik u. Physik.)

Grundriß der Elektrotechnik für technische Lehranstalten. Von Prof. Dr. W. Brüsch. Mit 248 Figuren. Geh. M. 3.—

Chemische Technologie. Grundlagen, Arbeitsverfahren und Erzeugnisse der chemischen Technik. Kurzgefaßtes Lehrbuch für Handels-, Gewerbe- und andere Schulen wie zum Selbstunterricht. Unter Mitwirkung zahlr. Fachleute bearbeitet von Prof. Dr. R. Sachße. 2. Aufl. Mit 96 Abb. i. T. Geh. M. 3.60

Das Holz, seine Bearbeitung und seine Verwendung. Von Josef Großmann, Leiter der technol. Kurse für Holzbearbeitung. Mit 39 Abb. im Text. (ANuG Bd. 437.) Geh. M. 1.20, geb. M. 1.50

Gewerbekunde der Holzbearbeitung. Leitfaden für Schule u. Praxis. 2 Bde. Von Josef Großmann, Leiter der technol. Kurse für Holzbearbeitung.

Bd. I. Technologie des Holzes. Mit 81 Textabb. u. 7 Tafeln mit 63 farb. Abb. Geb. M. 2.—.
Bd. II. Die Werkzeuge und Maschinen der Holzbearbeitung. Mit 306 Fig. Geb. M. 2.40

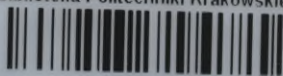
Auf sämtliche Preise Teuerungszuschläge des Verlages und der Buchhandlungen

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

30.00

BIBLIOTEKA GŁÓWNA
Politechniki Krakowskiej

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



I-301481

PK 244, 1200/73 - 100 000 egz.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000295968