

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000295881

Aus Natur und Geisteswelt
Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen

20. Band

Das Eisenhüttenwesen

Von

Dr. H. Wedding

weil. Geh. Bergrat, Professor an der ehemaligen
Kgl. Bergakademie u. Techn. Hochschule zu Berlin

Sechste Auflage

27. bis 32. Tausend

Von

Friedrich Wilhelm Wedding

Bergassessor

Mit 22 Abbildungen

*Dr. H. Wedding
Bergassessor
Kgl. Bergakademie u. Techn. Hochschule zu Berlin*

Verlag und Druck von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin 1921

Ww/25

1-301528

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

I 369

Schutzformel für die Vereinigten Staaten von Amerika:
Copyright 1921 by B. G. Teubner in Leipzig

BRU-7-88/2017

Alle Rechte, einschließlich des Übersetzungsrechts, vorbehalten

Akc. Nr. _____

~~282~~ / 49

Vorwort zur ersten bis sechsten Auflage.

In den ersten drei Auflagen hatte mein verstorbener Vater das Gebiet des Eisenhüttenwesens in Form von gemeinverständlichen Vorträgen dargestellt, die er vor Zuhörern mit geringer Vorbildung gehalten hatte. Für die vierte Auflage hatte ich dann nach Wahl der jetzigen Darstellungsform den Inhalt im Sinne meines Vaters vollständig neu bearbeitet, da die Technik inzwischen weiter fortgeschritten war und das Werkchen sich in immer größerem Umfange solche Kreise zu erobern begann, deren Vorkenntnisse die Fortlassung der einfachsten Grundlagen des behandelten Wissensgebiets gestatteten, außerdem auch bei den Lesern, für die das kleine Buch ursprünglich bestimmt war, infolge der allgemeinen Hebung der technischen Unterweisung, ein höheres Maß an Wissen vorausgesetzt werden konnte als in früheren Jahren.

Die günstige Aufnahme, welche die neu bearbeitete vierte und dann auch die verbesserte fünfte Auflage gefunden hatte, hat mich darin bestärkt, den eingeschlagenen Weg hinsichtlich der Auswahl und Anordnung des Stoffs sowie der Darstellungsweise auch für die vorliegende sechste Auflage im wesentlichen beizubehalten. Fast alle Abschnitte haben dabei aber nach Einschränkung des Umfangs der älteren metallurgischen Verfahren eine Bereicherung des Inhalts und eine den technischen Fortschritten entsprechende Veränderung erfahren können. Die bisherigen Abbildungen sind gleichzeitig in ihrer Mehrzahl durch neue ersetzt und um einige weitere vermehrt worden. Bei dem geringen Umfange des Werkchens konnte der Gesamthalt nach wie vor naturgemäß nur auf das Allerwichtigste aus dem großen Wissensgebiete beschränkt bleiben. Diejenigen Leser, die hierüber ausführlicher unterrichtet sein möchten, seien auf das Werk des Verfassers „Grundriss der Eisenhüttenkunde“ (Verlag Ernst & Sohn, Berlin) verwiesen, dessen vollständig neubearbeitete sechste Auflage voraussichtlich noch in diesem Jahre erscheinen wird.

Möge das Bändchen weiterhin dazu beitragen, die Kenntnis des für den Menschen unentbehrlichsten metallischen Stoffs, des Eisens, das neben der Kohle die wichtigste Grundlage unserer ganzen neuzeitlichen Technik und Wirtschaft bildet, in alle Kreise des Volkes zu tragen.

Steele (Ruhr), im Mai 1921.

F. W. Wedding.

Inhaltsverzeichnis.

Vorwort zur ersten bis sechsten Auflage	3
I. Die Geschichte des Eisens	7
Älteste Eisensfunde. Die Eisendarstellung im Altertum, im Mittelalter und in der Neuzeit. Entwicklung der Eisenindustrie in den verschiedenen Ländern. Die Bedeutung des Eisens in der Gegenwart.	
II. Statistische Angaben	21
Eisenerzförderung in den wichtigsten Ländern. Deutschlands Förderung, Einfuhr und Ausfuhr an Eisenerzen. Steinkohlenförderung, Kokszeugung, Braunkohlenförderung, Roheisen- und Flußeisenerzeugung der wichtigsten Länder. Statistische Einzelangaben über die Hochofen-, Schweizeisen-, Flußeisen- und Walzwerke, sowie die Eisen-, Temper- und Stahlgießereien des Deutschen Reiches.	
III. Das reine Eisenmetall und die Eisenkohlenstofflegierungen	33
Grundstoffe. Das reine Eisenmetall und seine wichtigsten Eigenschaften. Zusammengesetzte Stoffe. Legierungen. Kristallisation der technischen Eisensorten. Kleingefüge. Kristallisation und Kleingefüge der Eisenkohlenstofflegierungen.	
IV. Die Eigenschaften des technisch verwerteten Eisens	43
Die auf die Eigenschaften wirkenden Einflüsse. Festigkeitseigenschaften (Festigkeit, Elastizität, Zähigkeit). Härte. Elektrische Leitfähigkeit. Magnetische Eigenschaften. Säurebeständigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen Rost. Schmelzbarkeit, Schwindung, Lunkerung, Gasblasenbildung, Seigerung. Schmiedbarkeit. Schweißbarkeit. Härtebarkeit.	
V. Einteilung und Benennung des technisch verwerteten Eisens	53
Unterscheidungsmerkmale zwischen schmiedbarem Eisen und Roheisen, weißem und grauem Roheisen, Schweizeisen und Flußeisen, Schmiedeseisen und Stahl. Benennung der verschiedenen Eisensorten in der Praxis.	
VI. Die Brennstoffe	57
Allgemeines über die Verbrennung. Natürliche Brennstoffe: Holz, Torf, Braunkohlen, Steinkohlen, Erdöl, Naturgas. Künstliche Brennstoffe: Preßkohlen, Holzkohle, Koks, Teeröle, Benzole, Benzin, Petroleum, Koksöfengas, Hochofengas, Generatorgas.	

VII. Die für die Darstellung des Eisens wichtigsten Rohstoffe und ihre Vorbereitung für die Verhüttung	65
Eisenerze: Magnet-, Rot-, Braun- und Spateisenstein. Sonstige Rohstoffe. Masse und magnetische Aufbereitung, Drikettierung, Agglomerierung, Röstfen.	
VIII. Allgemeines über die Darstellung des technisch verwerteten Eisens	73
Reduktions- und Oxydationsvorgänge.	
IX. Die Darstellung des Roheisens	75
Kurzer Überblick über die Roheisendarstellung im Roßhochofen. Die Vorbereitung der Luft für den Hochofenprozeß. Der Cowperwinderhizer. Der Hochofen. Der Hochofenprozeß. Roheisendarstellung im elektrischen Hochofen. Die Erzeugnisse des Hochofens und ihre Verwendung: Roheisen, Schlacke, Gichtgase.	
X. Die Darstellung des schmiedbaren Eisens	92
1. Das Bessemer- und das Thomasverfahren (Windfrischen). Das Bessemerverfahren: Die Bessemerbirne. Der Roheisenmischer. Das Arbeitsverfahren. Das Thomasverfahren. Die Erzeugnisse. Das Gießen der Blöcke.	
2. Das Siemens-Martin-Verfahren (Herbfrischen). Der Siemens-Martin-Ofen. Das Schrottroheisenverfahren. Das Roheisenerzverfahren und seine Abarten. Die Erzeugnisse.	
3. Das Tiegelstahlverfahren.	
4. Das Elektrostahlverfahren.	
XI. Die Formgebung und die mechanische und thermische Behandlung des Eisens	115
1. Schmieden, Pressen, Walzen.	
2. Eisen-, Temper- und Stahlgießerei. Die Darstellung des Eisengusses. Die Gußformen der Eisen- und Stahlgießerei. Die Darstellung des schmiedbaren Gusses oder Tempergusses. Die Darstellung des Stahlgusses. Bearbeitung der Gußstücke.	
Sachverzeichnis	131

Verzeichnis der Abbildungen.

- Abb. 1 (S. 12): Einfacher Puddelofen. (Senkrechter Längsschnitt.)
Abb. 2 u. 3 (S. 78 u. 79): Cowper-Winderhizer. (Senkrechter und wagerechter Schnitt.)
Abb. 4 (S. 81): Hochofen. (Senkrechter Schnitt.)
Abb. 5 u. 6 (S. 93): Bessemerbirne. (Senkrechter Schnitt und Seitenansicht.)
Abb. 7 (S. 94): Roheisenmischer.
Abb. 8 u. 9 (S. 102 u. 103): Siemens-Martin-Ofen nach Waltruschat. (Senkrechter Längs- und Querschnitt.)
Abb. 10 (S. 112): Héroultofen. (Senkrechter Querschnitt.)
Abb. 11 (S. 113): Röchling-Rodenhauser-Ofen. (Senkrechter und wagerechter Schnitt.)
Abb. 12 (S. 117): Streckung des Walzguts.
Abb. 13 (S. 117): Glatte Walze.
Abb. 14 (S. 117): Kaliberwalze.
Abb. 15 (S. 118): Walzvorgang beim Umkehrwalzwerk.
Abb. 16 (S. 119): Walzvorgang beim Dreivalzwerk.
Abb. 17 (S. 119): Dreivalzwerk.
Abb. 18 (S. 121): Kuppelofen mit Vorherd. (Wagerechter und senkrechter Schnitt.)
Abb. 19 bis 21 (S. 125): Kastenformerei mit Modellen.
Abb. 22 (S. 126): Schablonenformerei.

I. Die Geschichte des Eisens.

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

So ist in einer inneren Steinfuge der Cheopspyramide, die etwa 3000 v. Chr. gebaut wurde, das Bruchstück eines eisernen Werkzeuges gefunden worden, 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 Treppe dienten. In Flachbildwerken aus Grabstätten jener Zeit deuten die mit grauer Farbe angelegten Teile von Pflügen, Sägen, Meißeln, Beilen und anderen Werkzeugen darauf hin, daß sie 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 Bibelspruch 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 blauschimmerndes Eisen,
zehn zweischneidige Äxt' und zehn der Beile zum Kampfspreis.

In Italien hatten schon die alten Etrusker eiserne Waffen und Geräte, und die Römer erfochten viele der Siege, denen sie ihre Weltmachtstellung verdankten, zum großen Teil mit Stahl und Eisen.

In Nordeuropa, wo die eingeseßene Urbevölkerung in der vorgeschichtlichen Stein- und Bronzezeit neben anderen schon eiserne Werkzeuge und Waffen benutzte, wie Funde aus Gräbern jener Zeit beweisen, wurden auch die alten Germanen bald mit der Eisenberei-

tung vertraut. Stählerne Speere, Schwerter, Messer und Ätze lernten sie meisterhaft schmieden.

Der Mangel an naturwissenschaftlichen Kenntnissen der Alten brachte es mit sich, daß die Darstellung des Eisens im Altertum und noch im Mittelalter 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 Eisenbereitung auch in sehr bescheidenen Grenzen. Geschichtliche Überlieferungen über die ältesten Verfahren zur Darstellung des Eisens im Altertum sind in nur unzureichendem Maße vorhanden; immerhin können wir uns an Hand dieser Quellen und der Reste kleiner Eisenbereitungsstätten jener Zeit sowie auf Grund der heute noch von Naturvölkern ausgeübten Eisenbereitung ein Bild davon machen, wie das Eisen damals gewonnen wurde. Möglichst reines und leicht schmelzbares Eisenerz, im mitteleuropäischen Flachlande z. B. vorwiegend Raseneisenerz, 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 Eisenkörnern 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 besonders zur Entfernung eines Theils der eingeschlossenen Schlacke wurde die Luppe mit einer Zange gefaßt, mit einem Hammer ordentlich durchgeknetet 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 eisenerzreichen, bewaldeten Bergkuppen oder Abhängen. Dort verfügten sie nicht nur über Erze und gleichzeitig das Holz der Wälder, aus dem sie sich ihre Holzkohlen in Meilern herstellten, sondern ein frischer Wind unterhielt dort auch das Feuer in ihren Stücköfen besser als in den windgeschützten Tälern. Frühzeitig lernte man daneben zuerst für die Kernteuer in Gruben und Herden, dann auch für die Stücköfen

Blasebälge zur künstlichen Erzeugung des Windes zu verwenden, und machte sich dadurch ganz unabhängig vom natürlichen Luftzuge.

Lange Zeit hindurch wurden die Blasebälge noch durch Menschenkraft bewegt, aber wohl schon gegen Ausgang des Altertums, als die Stücköfen zur Erzielung eines höheren Ausbringens größere Abmessungen erhielten und dementsprechend mehr Wind verbrauchten, ließen die Hüttenleute die „Gebläse“ nach dem Vorbilde der Mühlenräder durch Wasserkraft antreiben. Trotz seiner Unvollkommenheit — man gewann bei verhältnismäßig großem Aufwand an Brennstoff nur die Hälfte des im Erz enthaltenen Eisens — hielt sich das Verfahren zur Darstellung des Schweißeisens unmittelbar aus den Erzen im Rennfeuer- und Stückofenbetrieb viele Jahrhunderte hindurch, in einzelnen Gegenden sogar bis in die jüngste Zeit 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, und schließlich wohl günstige Betriebserfahrungen mögen die Eisenhüttenleute des Mittelalters veranlaßt haben, die Stücköfen bald einige Meter hoch zu bauen und demgemäß die Leistungsfähigkeit der Gebläse weiter zu steigern. Die stärkere Windpressung einerseits, der größere Rauminhalt der Öfen und die damit verbundene geringere Abkühlung der Schmelzstoffe andererseits bewirkten nun eine so günstige Wärmeausnutzung des Brennstoffs im Ofen, daß nicht nur teigiges Schweißeisen, sondern zum Teil auch flüssiges „Roheisen“ gewonnen wurde. Mit dem letzteren wußte man anfänglich nicht viel anzufangen, denn schmieden ließ es sich nicht und zum 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. Es wurde daher oft nochmals in den Ofen gegeben. Erst als man infolge noch höherer Temperaturen im Ofen und bei richtiger Auswahl der Erze vorwiegend das dünnflüssigere, leichter vergießbare und besser bearbeitbare graue Roheisen gewann, lernte man bald, dieses durch Gießen in Formen nutzbringend zu verwenden. Um das Jahr 1400 konnte man bereits kleine Kanonen und Kugeln aus Roheisen gießen, ferner Rohre und allerlei Gegenstände des täglichen Gebrauchs. Zu hoher Blüte entwickelte sich im Mittelalter besonders in Deutschland der Guß künstlerisch entworfenener Platten für Zimmeröfen. Auch die Bearbeitung des schmiedbaren Eisens zei-

tigte damals die schönsten Erfolge, wie die Rüstungen und Waffen jener Zeit beweisen, die von einer bewundernswerten Vollendung der Schmiedekunst zeugen.

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 Schweiß Eisen. 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 und als Dryde in die Luft oder die Schlacke überführte. Dieses Verfahren zur Umwandlung des Roheisens in schmiedbares Eisen nannte man Frischen, das Feuer, in dem das Frischverfahren durchgeführt wurde, Frischfeuer und das hierin erzeugte Schweiß Eisen Frischeisen oder Frischfeuer Eisen, dessen Vergütung übrigens auf gleiche Weise wie beim Rennfeuerbetrieb, also durch Bearbeitung mit dem Hammer, erfolgte. 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 indirekte Darstellung des schmiedbaren Eisens, die also darin bestand, erst Roheisen mit einem verhältnismäßig hohen Gehalt an Legierungsbestandteilen herzustellen und dieses dann durch Frischen in schmiedbares Eisen mit einem geringeren Gehalt daran zu verwandeln, fand erst ganz allmählich Eingang, die Hauptmenge des erzeugten Roheisens verwendete man lange Zeit hindurch nur zum Gießen. In dem Maße aber, wie sich das Frischen verbreitete, nahm das früher allein ausgeübte Verfahren zur direkten Darstellung des Schweiß Eisens aus Erzen in Rennfeuern und Stücköfen, die sog. Rennarbeit, mehr und mehr ab.

Die Möglichkeit, das Roheisen einerseits zum Gießen, andererseits zur Darstellung von Schweiß Eisen zu verwenden, erhöhte den Bedarf allmählich, so daß man immer größere Öfen baute, um die Erzeugung zu steigern. Im 16. Jahrhundert erreichten die Stücköfen bereits Höhen bis zu 6 m und können daher von da ab, auch wegen der Art ihres

Betriebes schon als Vorläufer unserer heutigen großen Hochofen angesehen werden. Die damaligen Ofenleistungen waren allerdings im Vergleich zu denjenigen der neuzeitlichen Riesenöfen noch recht gering. So lieferte z. B. ein im Jahre 1544 zu Ilfenburg am Harz errichteter Ofen gegen Ende des 16. Jahrhunderts nur annähernd 750 kg Roheisen am Tage, während die leistungsfähigsten der heutigen Hochofen eine 500- bis 800 mal so große durchschnittliche Tageserzeugung aufweisen.

Das um jene Zeit so hoch entwickelte Eisengewerbe Deutschlands wurde durch den dreißigjährigen Krieg schwer mitgenommen. Einzelne Hütten konnten sich zwar durch die Erzeugung von Kriegsmaterial aller Art halten, dafür wurden aber auch zahlreiche zerstört, eine Reihe von ihnen für immer, andere für viele Jahrzehnte. Erst lange Zeit nach dem furchtbaren Kriege konnten sich einzelne Eisenwerke wieder etwas erholen. Aber mancherlei widrige Umstände, wie Erz- und Holzkohlenmangel ließen die meisten von ihnen nicht wieder die einstige Blüte erreichen.

Der ständig zunehmende Verbrauch an Holz zu den verschiedensten Zwecken brachte es mit sich, daß sich die Wälder mehr und mehr lichteteten, und das Holz immer teurer wurde. Die Eisenhüttenleute mußten sich daher nach einem anderen Brennstoff 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 Holzkohlarstellung in Meilern unter Luftabschluß zu erhitzen. So gewann man den Koks, der sich hinsichtlich seiner physikalischen Eigenschaften vorzüglich als Hochofenbrennstoff bewährt, aber den großen Nachteil hat, daß er einen der größten Feinde des Eisens, den Schwefel, enthält, der leicht ins Eisen übergeht und seine Eigenschaften verschlechtert. Aber hiermit wußten sich die Eisenhüttenleute abzufinden, indem sie Mittel und Wege fanden, wenigstens einen Teil des Schwefels vom Eisen fernzuhalten oder sonstwie unschädlich zu machen. Die ersten, die infolge Holzmangels Koks oder geeignete Steinkohlen im Hochofen anwendeten, waren die Engländer. Sie hatten hiermit schon um das Jahr 1620 Versuche gemacht, führten die Roheisenerzeugung mit Koks aber erst

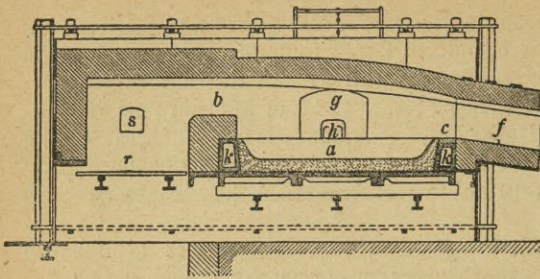


Abb. 1. Einfacher Puddelofen. (Senkrechter Längsschnitt.)

Koksbetrieb berechneten Hochofen erbaute man noch später, nämlich 1796 in Gleiwitz (Oberschlesien).

Steinkohlen oder Koks auch zum Frischfeuerbetrieb mit Erfolg zu verwenden, gelang nicht, denn hierbei kam das zu frischende Roheisen nochmals mit dem Brennstoff in engste Berührung und nahm den Schwefel daraus auf, ohne daß man ihn nachher wieder hätte entfernen 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, das in einem Flammofen vor sich geht. Hierbei können auch die schwefelhaltigen Steinkohlen als Brennstoff verwendet werden, da nicht sie selbst, sondern nur ihre heißen Feuergase mit dem zu frischenden Eisen in unmittelbare Berührung kommen. Durch das Puddelverfahren, das später noch wichtige Verbesserungen erfuhr, konnte man schon anfangs in gleicher Zeit mit derselben Arbeiterzahl bei weit geringeren Kosten zehnmal so viel schmiedbares Eisen herstellen wie durch den Frischfeuerbetrieb. Ein Puddelofen einfacher Bauart (Abb. 1) besteht aus drei Hauptteilen, nämlich aus der Feuerung mit dem Schürloch *s* und dem Rost *r*, auf dem Steinkohlen oder andere Heizstoffe verbrannt werden, dem Arbeitsherd *a* mit der großen Einsaktlür *g* zum Einbringen für das zu frischende Roheisen und mit der kleinen Arbeitsöffnung *h*, schließlich dem Fuchs *f*. Der muldenförmige Herd ist von der Feuerung durch die Feuerbrücke *b*, vom Fuchs durch die Fuchsbrücke *c* getrennt. Er ist mit schwer schmelzbaren eisenoxydreichen Schlacken ausgefüttert,

über 100 Jahre später, nämlich vom Jahre 1735 ab, für die Dauer ein. In Deutschland wurden Versuche mit Koks im Jahre 1767 zu Sulzbach (Saargebiet) an- gestellt, den ersten von vornherein für

deren Kühlung von unten durch die Außenluft, seitlich durch das in dem Eisenrahmen *k* kreisende Kühlwasser erfolgt. Die nicht mit dem Schmelzbade in Berührung kommenden Wandungen und Gewölbe sind aus feuerfesten Steinen aufgebaut. Das Arbeitsverfahren besteht in der Hauptsache darin, daß der Puddler das nach einiger Zeit im Herd geschmolzene und sich mit einer Schlackenschicht bedeckende Roheisen mit einer vorn hakenförmig gekrümmten Eisenstange, der Kratze, von der Arbeitsöffnung *h* aus gewissermaßen durchpflügt, so daß der Sauerstoff der Brenngase sowie der zugefügten oxydreichen Eisenschlacke in möglichst innige Berührung mit dem Eisen kommt und die in dem Metall enthaltenen Elemente Silizium, Mangan, Phosphor und Kohlenstoff teilweise in Oxyde verwandelt, die in die Schlacke übergehen oder wie z. B. Kohlenoxyd als Gas entweichen. Da der Schmelzpunkt des Eisens desto höher steigt je mehr sein Gehalt an den verschiedenen Elementen abnimmt (S. 48), die Temperatur der Heizgase im Ofen sich aber nicht entsprechend erhöhen läßt, geht das anfangs flüssige Eisen in einen teigförmigen Zustand über, der eine vollständige Trennung des Metalls von der Schlacke nicht zuläßt. Daher ist auch das Enderzeugnis des Puddelofenbetriebes, ebenso wie das des Remund Frischfeuerverfahrens ein schlackenhaltiges Schweiß Eisen. Dieses wird vom Puddler im Ofen in Form von Luppen gebracht, aus denen dann durch Zusammenpressen unter einem Hammer noch ein Teil des Schlackengehalts entfernt wird, so daß dieser schließlich bis auf etwa 4% heruntergeht. Die Luppen werden gleich anschließend durch Schmieden oder Walzen zu Knüppeln oder Rohschienen weiter verarbeitet. Das Puddelverfahren nimmt mehr und mehr ab und wird in den nächsten Jahren wohl ganz einschlafen, einerseits weil dabei nur verhältnismäßig geringe Mengen schmiedbaren Eisens auf einmal bei außerordentlich anstrengender und nur durch besonders erfahrene Leute auszuführende Arbeit erzeugt werden können, andererseits weil das Schweiß Eisen infolge seines Schlackengehalts für viele Zwecke nicht geeignet ist, besonders nicht für solche, bei denen bestimmte Festigkeitseigenschaften in Betracht kommen.

Außer dem Puddelverfahren wurde im 18. Jahrhundert noch eine andere wichtige Erfindung gemacht: die Darstellung des Gußstahls (jetzt Tiegelstahl) durch den Engländer Huntsman. Zum ersten Male war es hierbei gelungen, durch ein hüttenmännisches Verfahren, nämlich durch Umschmelzen von Schweißstahl in Tiegeln schmiedbares Eisen

im flüssigen Zustande (Flußeisen) herzustellen und dadurch ein schlackenfreies sehr reines Erzeugnis zu erhalten. Da bei der Tiegelstahldarstellung die chemische Zusammensetzung des eingesetzten Stahls im wesentlichen unverändert bleibt, also ein sehr reiner Einsatzstoff verwendet werden muß, benutzte man früher hierfür vorwiegend den sog. Zementstahl. Diesen erhielt man aus weichem Schweißeisen (meist Frischfeuer Eisen), das in Form von Flachstäben in Holzkohlenklein gebettet in besonderen Zementieröfen über eine Woche lang geglüht wurde. Hierbei wanderte der Kohlenstoff aus der Holzkohle in das Eisen hinein und verwandelte es so in Stahl. Das Zementieren war übrigens schon im 16. Jahrhundert bekannt und diente zur Herstellung besonders hochwertiger Stahlerzeugnisse. Der Tiegelstahl kam in Deutschland im 19. Jahrhundert besonders zu Ehren durch Friedrich Krupp in Essen, der die schwierige Aufgabe löste, durch Vereinigung des Inhalts mehrerer Tiegel große Blöcke besonders hochwertigen Stahls zu gießen, die durch sachgemäße mechanische und thermische Behandlung weiterhin veredelt wurden, so daß die daraus hergestellten Gegenstände, z. B. Geschützrohre u. dgl. die hervorragendsten Festigkeitseigenschaften besaßen. Den flüssigen Tiegelstahl ähnlich wie das Roheisen unmittelbar zum Gießen von Gebrauchsgegenständen (Stahlgießguß) 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. Mit dem durch Verbrennung der Steinkohlen verhältnismäßig billig erzeugten Dampf konnten die Gebläse, die Hämmer und späterhin auch die Walzwerke angetrieben werden. Nun waren die Eisenhütten nicht mehr abhängig von den Flußläufen in einsamen Wäldertälern, sie konnten sich vielmehr in Bergbaubezirke ziehen, in denen Kohle gewonnen wurde, mit deren Hilfe sie nicht nur ihre Maschinen betreiben, sondern auch ihr Roheisen im Hochofen und ihr schmiedbares Eisen im Puddel- und Tiegelofen gewinnen konnten. So war eine neue Zeit für die Eisenhüttenleute herangekommen, die ihnen zum ersten Male die Grundlagen für eine wirklich großzügige Industrie gab. 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 vorteilhafter Weise über das Meer in alle Länder 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 wichtigsten Erfindungen auf dem Gebiete des Eisenhüttenwesens im 18. und 19. Jahrhundert gerade von Engländern gemacht wurden.

Im 19. Jahrhundert verhalten neben den genannten noch andere Umstände dem Eisen zu einem glänzenden Siegeszuge über die ganze Erde. Zunächst verschafften die Fortschritte im Bau von Eisenbahnen, eisernen Schiffen und Eisenbauwerken aller Art sowie die ständig zunehmende Anwendung von Arbeits- und Kraftmaschinen in allen Gewerbszweigen der Eisenindustrie neue weite Absatzgebiete. Sodann trug die metallurgische Wissenschaft, die mit großem Erfolge die durch Chemie und Physik erforschten Naturgesetze auf die hüttenmännischen Verfahren anwendete und sie dadurch förderte, zur Hebung der Eisenindustrie bei. 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 Berggrat Faber du Faur im Jahre 1831 mit Erfolg durchgeführte Versuch, die Hochofengase, die man bis dahin achtlos in die Luft entweichen ließ, zur Erhitzung des Gebläsewindes zu verwenden, wodurch die Roheisendarstellung technisch und wirtschaftlich sehr vervollkommenet wurde.

Die deutsche Eisenindustrie konnte damals leider aus allen diesen günstigen Entwicklungsbedingungen keine großen Vorteile ziehen, denn Deutschland lag trotz seiner großen Waffenerfolge in den Freiheitskriegen besonders wegen der alten Uneinigkeit seiner Staaten wirtschaftlich unsagbar tief darnieder. 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 Schutz Zoll 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 Puddel-

verfahren und die Anwendung des Dampfes bis dahin noch immer den Bedarf an schmiedbarem Eisen glatt decken können, so war diese Frage für die nächste Zukunft keineswegs gelöst. 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 weiterem 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. Dabei war das gewonnene Erzeugnis überdies noch ein nahezu schlackenfreies Flußeisen, das bei richtiger Behandlung in vielen Eigenschaften dem Schweißisen weit überlegen war, sich außerdem auch viel billiger herstellen ließ als dieses und erst recht als der ebenfalls zur Gattung des Flußeisens gehörige Tiegelstahl. Es war erklärlich, daß man an das Bessemerverfahren nun sehr weitgehende 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 gefürchteten Gegner wichtiger Festigkeitseigenschaften des Metalls. Für Länder wie England und die Vereinigten Staaten von Nordamerika, die reich an phosphorarmen Erzen sind und daraus ein fast phosphorfrees, für den Bessemerprozeß geeignetes Roheisen erzeugen konnten, hatte das Verfahren wohl großen Wert, aber zu diesen Ländern zählte Deutschland nicht, denn der größte Teil seiner Erze war 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, einen geeigneten Stoff zu erfinden und das Verfahren so auszubilden, daß die Entfernung des Phosphors möglich wurde. 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 damals so großen Reichthum seiner phosphorhaltigen Erze sich selbst ein Roheisen herstellen, das sich durch das Thomasverfahren 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 kann man in einer Birne bis zu 30 000 kg Roheisen in 20—25 Minuten zu schmiedbarem Eisen verarbeiten.

Seit dem Jahre 1865 hat sich auch noch ein anderes Frischverfahren zur Erzeugung von Flußeisen und Flußstahl herausgebildet, das nach seinen Erfindern, den deutschen Gebrüdern Siemens und dem Franzosen Martin, benannt worden ist. Das Siemens-Martin-Verfahren hat gegenüber dem Bessemer- und Thomasverfahren in verschiedener Hinsicht Vorzüge und ist daher neben diesen beiden für die Massenerzeugung schmiedbarer Eisensorten, besonders solcher von besonders guter Beschaffenheit, von großer Bedeutung geworden. Seit Beginn dieses Jahrhunderts wird auch der elektrische Strom zur Eisendarstellung verwendet, und zwar sowohl zur Roheisen- als auch zur Stahlgewinnung. In größerem Umfange wird die elektrische Energie aber wohl nur in solchen Gegenden dafür herangezogen werden, wo sie durch Wasserkräfte verhältnismäßig billig gewonnen werden kann.

Entsprechend dem riesenhaft gestiegenen Bedarf an schmiedbarem Eisen war inzwischen auch die Roheisenerzeugung immer mehr erhöht worden, nicht nur durch Vermehrung der Hochofen, sondern auch durch ständige Vergrößerung ihres Rauminhalts. Die heutigen Hochofen sind ohne das sie umgebende Gerüst und die Fördereinrichtungen 20—30 m hoch und haben eine Tageserzeugung von 60 000—500 000 kg Roheisen und darüber. Um die den großen Erzeugungsmengen entsprechenden riesigen Rohstoffmassen zu lagern und in die Öfen zu schaffen, mußten 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 Erzeugnisse zu heben. Hierbei unterstützten die Fortschritte der Chemie und der 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 erhalten. Trotzdem hatte sie noch einmal eine schwere Prüfung durchzumachen. Die Anhänger der in England damals sich so glänzend bewährenden Smithschen Freihandelstheorie glaubten nämlich, 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 versetzte der deutschen Eisenindustrie, die nach dem Kriege ungesund schnell emporgeschossen war und dann infolge der unausbleiblichen Rückwirkungen eine schwere Krise durchmachte, fast den Todesstoß. Gegenüber der alten, wegen vieler wirtschaftlicher Vorteile viel billiger arbeitenden englischen Eisenindustrie drohte die deutsche ohne Schutz Zoll fast zu erliegen, bis schließlich Bismarck als Retter auftrat, indem er den Schutz Zoll wieder einführte.

Im letzten Viertel des vorigen Jahrhunderts traten zu den übrigen Weltmächten, die sich durch eine Großeisenindustrie 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 Schutz zölle 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 aller übrigen Länder zu behalten.

Seit Einführung des Schutz zolls im Jahre 1879 nahm nun endlich auch die Eisenindustrie des jungen Deutschen Reiches einen ungeahnten Aufschwung. Nach zwei Jahrzehnten überflügelte Deutschland in zähem Ringen England zuerst im Jahre 1900 in der Höhe der Stahlerzeugung und dann 1903 auch der Roheisenerzeugung. Ohne den Krieg hätte Deutschland jetzt bei gleichbleibender Weiter-

Deutsche Eisenindustrie seit 1871. Bedeutung des Eisens f. d. Gegenwart 19
entwicklung doppelt soviel Roheisen und dreimal soviel Stahl erzeugt
wie England.

So hat uns denn der kurze Überblick über die Geschichte des Eisens
bis in die Gegenwart geführt, die man mit Recht „das eiserne Zeit-
alter“ nennt, weil das Eisen wie kein anderer Stoff jedem Kul-
turlande seinen Stempel aufdrückt. Wir brauchen hierbei nur an die
ungeheuren Mengen des Metalls zu denken, die in den Schienen,
Schwellen, Lokomotiven, Wagen und sonstigen Betriebseinrichtungen
der Eisenbahn enthalten sind, die Eisenmassen, aus denen die neu-
zeitlichen Riesenschiffe bestehen, oder die Millionen großer und kleiner
Arbeits- und Kraftmaschinen sowie sonstiger technischer Anlagen aller
Gewerbebezüge zusammengesetzt sind, an das unermessliche Gewicht, das
in den zahllosen Eisenbauwerken steckt, wie eisernen Brücken, Hallen,
Türmen und Vorrichtungen zur Beförderung von Massengütern, schließ-
lich an die tausenderlei eisernen Gerätschaften und Werkzeuge, die in
allen Gewerben und in jedem Haushalt gebraucht werden.

Ins Ungemessene steigt auch der Verbrauch an Eisen und Stahl
in einem neuzeitlichen Kriege, wie der mehrjährige Weltkrieg bewiesen
hat. Es sei hier nur an die vielen tausend Granaten erinnert, die
täglich von Feind zu Feind hinübergeschleudert wurden, an die vielen
Minen, Fliegerbomben, Handgranaten u. dgl., an die stählernen Ge-
schütze, Minenwerfer, Tanks, Maschinen- und anderen Gewehre, die
Stieß- und Stoßwaffen, die Stahlschilder, Stahlhelme, die ausge-
dehnten Verhaue von Stacheldraht und all die übrigen Angriffs- und
Abwehrmittel. Und nicht nur beim Heere, auch bei einer Kriegsflotte
begegnet man allenthalben Stahl und Eisen, mag es sich um schwer
gepanzerte Großkampfschiffe, um Kreuzer, Torpedo- und Unterseeboote
oder irgendwelche Schiffe für Sonderzwecke handeln.

Diese Beispiele zeigen deutlich genug die überaus große Wichtig-
keit des Eisens für ein Kulturland in Frieden und Krieg. Zu einer
Weltmachtstellung wird sich jedenfalls heute kein Land mehr empor-
schwingen können, das nicht über hinreichend große Eisenerzmengen
und die zu ihrer Verhüttung und Verarbeitung notwendigen Stein-
kohlenvorräte verfügt, besonders dann nicht, wenn es seinen Platz an
der Sonne durch Kriege behaupten muß, in denen es fast ganz auf
eigene Kraft angewiesen ist wie Deutschland im letzten Weltkriege.

Dieser uns von unsern mißgünstigen Nachbarn, besonders von Eng-
land aufgezwungene Krieg, dessen unglücklicher Ausgang für Deutsch-

land letzten Endes wieder den alten deutschen Erbübeln zuzuschreiben ist, nämlich der Unfähigkeit und Schwäche seiner Führer vor und im Kriege, der politischen Stumpfheit des Bürgertums, dem Mangel an Nationalgefühl breiter Massen und der inneren Zerrissenheit des Volkes, hat das junge deutsche Kaiserreich nicht nur von einer Weltmacht zu einem politisch unbedeutenden Staate erniedrigt, sondern auch sein Wirtschaftsleben in Fesseln geschlagen, die den Wiederaufstieg zu der einstigen Blüte für absehbare Zeit unmöglich machen.

Zu den Wirtschaftszweigen, die durch den verlorenen Krieg besonders schwer getroffen sind, gehört die deutsche Eisenindustrie. Ihr sind durch den Raub Lothringens und die Besetzung des Saargebiets durch die Franzosen, nicht nur das größte europäische Eisenerzvorkommen, das lothringische Minetteerzbecken, sondern auch die vorwiegend auf diesem Vorkommen gegründeten dortigen großen Eisen- und Stahlwerke entrisen worden, wodurch die deutsche Eisenerzförderung 60 %, bei Hinzurechnung des aus dem Zollgebiet ausgeschiedenen Luxemburg sogar 80 % und die Roheisenerzeugung 40 % von ihrer einstigen Höhe eingebüßt haben, ganz abgesehen davon, daß die dem Reiche gebliebenen Werke durch vorübergehende Sperrung der Erzzufuhr und Kohlenmangel ihre frühere Erzeugung sehr erheblich einschränken müssen. Düstere Wolken schweben auch noch über unserer kohlen- und eisenindustriereichen östlichen Provinz Oberschlesien, die uns die polnischen Neider gewaltsam zu entreißen und damit ihrem sicheren Niedergang preiszugeben drohen, obwohl sie deutscher Fleiß und deutsche Tatkraft zu hoher Blüte entwickelt haben.

In welcher Weise die deutsche Eisenindustrie durch den unglücklichen Krieg in der Höhe ihrer Erzeugung zurückgegangen ist, lehren einige Zahlen im nächsten Kapitel besonders deutlich. Mit der einstigen billigen Massenerzeugung von Eisen und Stahl ist es danach in Deutschland vorbei. Wir müssen uns dafür bemühen, nach Möglichkeit aus den wenigen, unserem Lande noch verbliebenen Erzvorräten unter Hinzuziehung reicher ausländischer Erze hochwertige Enderzeugnisse herzustellen und in andere Länder auszuführen, wenn das Eisenhüttenwesen seiner einstigen Bedeutung im deutschen Wirtschaftsleben entsprechend am Wiederaufbau unseres Vaterlandes mitwirken will. Hierzu bedürfen wir allerdings von starker Hand durchgeführter Ruhe und Ordnung im Lande, eisernen Fleißes aller beteiligten Geistes- und Handarbeiter unter Zurücksetzung aller Sonderwünsche, die unserem Wirt-

schaftsleben neue Wunden schlagen oder es wie die berüchtigte Sozialisierung dem völligen Untergange nahebringen würden, und nicht zuletzt der festen Hoffnung auf ein Wiedererstarren unseres Vaterlandes, in dem die markigen Worte des alten deutschen Dichters der Freiheitskriege wieder zur Geltung kommen:

„Der Gott, der Eisen wachsen ließ, der wollte keine Knechte.“

II. Statistische Angaben.¹⁾

Die beiden wichtigsten Rohstoffe für die Eisenerzeugung sind die Eisenerze und die Steinkohlen. Wie die Eisenerzförderung in den hauptsächlich in Betracht kommenden Ländern sich vor, in und nach dem Kriege gestaltete, zeigt die folgende Zusammenstellung:

	Eisenerzförderung in 1000 t							
	1913	1914	1915	1916	1917	1918	1919	1920
Ber. Staat. v. Amerika	62975	42103	56415	76370	76493	70773	61436	68857
Deutsches Reich	28608	20505	17710	21333	22465	—	—	—
Luxemburg	7333	5007	6076	6958	4502	3131	3112	—
Frankreich	21500	11252	620	1681	2035	1672	9430	13871
Großbritannien	16254	15105	14463	13711	15083	15285	12451	—
Spanien	9861	6820	5618	5857	5551	4693	4640	—
Rußland	8207	4068	3707	—	—	—	—	—
Schweden	7479	6586	6883	6986	6217	6624	5045	—
Österreich	3039	2281	3785	—	—	—	—	—
Algier	1356	767	722	795 ²⁾	940 ²⁾	782	—	—
Italien	603	706	680	942	994	726	487	—
Griechenland	650	304	160	53	63	—	—	—

Das Deutsche Reich stand also vor und in dem Kriege unter allen Eisenerz fördernden Ländern der Erde an zweiter, in Europa sogar an erster Stelle, selbst wenn man die Förderung des damals zum deutschen Zollgebiet zählenden Großherzogtums Luxemburg unberücksichtigt läßt. Nach dem Raube Lothringens durch die Franzosen und

1) Eine ganze Reihe von Zahlen konnte in Ermangelung zuverlässiger statistischer Unterlagen oder wegen des Verbots der Veröffentlichung nicht bis zur Gegenwart ergänzt werden. Die meisten Angaben sind den Vierteljahrsheften zur Statistik des Deutschen Reichs und den Zeitschriften „Glückauf“ oder „Stahl und Eisen“ entnommen.

2) Einfuhr Englands an algerischem Erz.

dem Ausscheiden Luxemburgs aus dem deutschen Zollgebiet wird das Deutsche Reich in der Erzförderung jetzt nicht nur hinter Frankreich und Großbritannien zurückbleiben, sondern sogar auch hinter Spanien und Schweden, also in der Reihe der Eisenerz fördernden Länder der Erde von der zweiten an die sechste Stelle rücken.

Der Wert der im Deutschen Reich und in Luxemburg in den Jahren 1913 bis 1917 geförderten Eisenerze sowie die Zahl der Eisenerz fördernden Werke und der in ihnen beschäftigten Arbeiter geht aus den folgenden Übersichten hervor:

Wert der geförderten Eisenerze im ganzen in 1000 *M* und je *t* im Durchschnitt in *M*.

	1913		1914		1915		1916		1917	
Deutsches Reich....	133441		101279		94344	5,33	122171	5,73	167836	7,47
Luxemburg.....	3,71		3,97		15937	—	19249	—	15477	—

~*~*~

Zahl der Eisenerzbetriebe und der darin beschäftigten Arbeiter.

	1913		1914		1915		1916		1917	
Deutsches Reich.	328	42300	310	48000	326	35100	359	30600	401	36700
Luxemburg.....	84	5800	77	4500	84	4400	87	4700	83	4100

Von den im ganzen deutschen Zollgebiet 1913 geförderten Eisenerzen stammten aus

	<i>t</i>	% der Gesamtförderung
Deutsch-Lothringen . . .	21 135 554	58,8
dem übrigen Deutschland.	7 472 359	20,8
Luxemburg	7 333 372	20,4
	<u>35 941 285</u>	<u>100,0</u>

Danach wurde also vor dem Kriege in dem von Frankreich geraubten Deutsch-Lothringen fast dreimal und in diesem und Luxemburg zusammen nahezu viermal so viel Eisenerz gefördert wie im ganzen übrigen Deutschland.

Mit welchen Förderzahlen bzw. Hundertteilen der Gesamtförderung die wichtigeren Eisenerzbezirke an der Gesamtförderung im Deutschen Reich in den letzten Jahren beteiligt waren, zeigt die nachstehende Zusammenstellung:

	1913	1914	1915	1916	1917			
Lothringer Minettebezirk	21136265	14021276	10755525	60,7	13305597	62,4	13618707	60,6
Siegerland-Wieder-Spat-eisensteinbezirk	2729341	2273722	2323551	13,1	2472479	11,6	2353137	10,5
Rassauisch-Oberhessischer Bezirk (Lahn-Dill)	1102503	911434	1132106	6,4	1354913	6,4	1607610	7,2
Feine-Salzgitter-Berzirk	—	914144	1039154	5,9	1333850	6,3	1851529	8,2
Bogelsberger Basalteisen-erz-Berzirk	—	—	736236	4,2	932054	4,4	817040	3,7

Den Anteil der verschiedenen Erzarten an der Gesamtförderung des Deutschen Reiches in den Jahren 1913 und 1917 zeigt die folgende Übersicht:

	Menge einschl. des natürlichen Rässe- gehaltes		Durchschnittl. Eisen- gehalt nach Abzug des natürlichen Rässe- gehaltes	
	1913	1917	1913	1917
Minette	21136265	13618707	31,66	30,58
Brauneisenstein mit weniger als 12 % Mangan	3005970	4447452	34,14	32,70
Brauneisenstein mit 12-30% Mangan	330037	544966	22,86	20,25
Manganerze mit mehr als 30 % Mangan	760	16678	—	—
Roteisenstein	1102067	1290978	42,73	39,84
Spat-eisenstein	2860811	2301065	33,54	33,25
Magneteisenstein	31587	21819	48,35	50,53
Ton- und Kohleneisenstein	57827	37325	33,48	33,03
Flußeisenstein	42167	50011	33,27	33,86
Raseneisenerz	36346	3644	34,11	39,29
Anderer Erze	4066	132135	26,31	34,58
Insges. Deutsches Reich	28607903	22464780	32,49	31,66

Waren diese vor dem Kriege in einem Jahre im eigenen Lande geförderten Erzmengen auch sehr groß, so reichten sie doch bei weitem nicht aus, unseren damaligen Riesenbedarf an Eisen zu decken, so daß wir gezwungen waren, weitere Mengen in erheblichem Umfange einzuführen. Im Jahre 1913 hat Deutschland an Eisenerzen eingeführt aus:

Schweden	4563635 t	Rußland	489332 t
Frankreich	3810887 t	Algier	481157 t
Spanien	3632058 t	Norwegen	303457 t

Griechenland	147148 t	Neufundland	121175 t
Tunis.	136412 t	Osterreich-Ungarn . . .	105983 t
Belgien	127131 t	Sonstigen Ländern . .	105893 t

Die Einfuhr belief sich danach im Jahre 1913 auf 14024318 t, nachdem sie in den davor liegenden Jahren ständig zugenommen hatte.

Während der Kriegsjahre konnten infolge der feindlichen Blockade fast nur schwedische Erze eingeführt werden, deren Menge jedoch wesentlich geringer als in den letzten Friedensjahren gewesen sein dürfte, jetzt aber wieder etwas zugenommen haben wird. Gleichzeitig werden wahrscheinlich auch wieder spanische Eisenerze und indische Manganerze verhüttet werden. Ganz erheblich wird sich, falls die Franzosen nicht an Eisenerzen ersticken wollen, die Ausfuhr von Minette aus Frankreich, deren Höhe augenblicklich unbekannt ist, gegen die vorkriegszeitlichen Mengen erhöhen, vorausgesetzt, daß sich unsere Kohlenlage durch Steigerung der gegenwärtigen Förderung bessert und unsere sonstigen wirtschaftlichen Verhältnisse die Einfuhr zulassen.

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

	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. Zollgebiets .	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 Spalte 3 kann man auch ersehen, daß der Durchschnittseisengehalt der eingeführten Erze beträchtlich höher war als derjenige der im Inland geförderten, so daß der Gesamteiseninhalt der ersteren (Spalte 4) etwa $\frac{2}{5}$ (Spalte 5) desjenigen der Versorgung ausmachte.

Über die Höhe der Steinkohlenförderung, Kokserzeugung und Braunkohलगewinnung in den Ländern mit den höchsten Erzeugungsziffern geben die nächsten Übersichten Aufschluß:

	1913	1914	1915	1916	1917	1918	1919	1920
Steinkohlenförderung (in 1000 t)								
Ver. Staaten								
v. Amerika	517142	465865	482280	535331	590946	678212	495251	585424
Großbritan.	292044	269928	257270	260490	252488	231370	233467	232975
Dtsch. Reich	191511	161385	146868	159170	167311	160526	116681	131347
Frankreich .	40129	26841	18856	20542	27757	24941	21567	24303
Rußland ..	30745	35730	31439	34333	31467	—	—	—
Belgien ...	22842	16714	14177	16863	14931	13891	18483	22414
Japan	21000	22253	20447	22896	25401	27216	30000	—
Tschechosl. .	—	—	—	—	—	—	10384	—
Österreich ..	16400	15546	16083	17602	16729	—	90	134
Brit.-Ind. .	16468	16728	17379	17531	20166	20165	20108	—
Kanada ...	13617	12372	12036	13120	12743	13589	12792	14682
Australien .	11503	11509	11530	9976	10406	11200	—	—
Spanien... .	4016	4443	4359	5116	5042	6512	5704	3941
Niederlande	1873	1929	2262	2586	3008	3340	3402	—
Schweden .	364	367	412	415	443	404	—	—
Koksgewinnung (in 1000 t)								
Ver. Staaten								
v. Amerika	42013	31349	37722	49472	50446	51236	—	—
Großbritan.	20961	19275	20381	21733	22348	21404	—	—
Dtsch. Reich	32168	27325	26359	34202	33639	33411	22015	25177
Frankreich .	4027	2275	834	1412	1534	1874	—	—
Rußland ..	—	4539	4065	5060	—	—	—	—
Belgien ...	3523	2002	515	792	676	522	757	—
Tschechosl. .	—	—	—	—	—	—	1393	—
Österreich ..	2599	2190	1908	2585	—	—	—	—
Kanada ...	1376	921	1089	1314	1118	1146	—	—
Spanien... .	596	597	623	760	543	630	330	—
Italien... .	498	453	449	516	447	263	303	—
Australien .	303	310	424	445	463	618	432	—
Braunkohlenförderung (in 1000 t)								
Dtsch. Reich	87116	83694	87948	94180	95553	100663	93843	111634
Tschechosl. .	—	—	—	—	—	—	17110	—
Österreich ..	27378	23581	22027	23200	21626	—	1984	2398
Frankreich .	793	687	677	768	1158	1318	910	971
Italien... .	701	781	953	1283	1657	2171	1239	1548
Spanien... .	277	291	328	473	638	726	540	—
Japan	—	105	100	109	153	173	—	—

Deutschland steht also auch nach dem unglücklichen Kriege von allen Ländern der Erde hinsichtlich der Höhe der Steinkohlenförderung noch an dritter, der Kokszerzeugung an zweiter und der Braunkohलगewinnung an erster Stelle.

Die Roheisen- und Flußeisenerzeugung hatte in den gleichen Jahren folgende Ziffern erreicht:

	1913	1914	1915	1916	1917	1918	1919	1920
Roheisenerzeugung (in 1000 t)								
Ber. Staaten von								
Amerika	31462	23606	30195	40066	39232	39052	31068	36987
Deutsches Reich .	16764	12581	10155	11342	11622	—	—	—
Luxemburg	2548	1827	1591	1951	1549	1267	617	—
Frankreich	5207	2736	584	1311	1408	1293	2412	2640
Großbritannien .	10647	9067	8864	9063	9488	9254	7516	8136
Rußland	4735	4261	3689	3798	—	—	—	—
Belgien	2485	1455	68	130	8	—	251	1130
Österreich	1758	1353	—	—	—	—	—	—
Kanada	1031	717	838	1087	1061	1083	832	—
Schweden	730	640	761	733	829	762	—	—
Italien	426	385	378	467	471	313	240	—
Spanien	997	382	387	323	358	387	29	—
Flußeisenerzeugung (in 1000 t)								
Ber. Staaten von								
Amerika	32839	23890	32667	43460	45784	45176	35228	—
Deutsches Reich .	17147	13710	12010	14240	14322	—	—	—
Luxemburg	1182	1136	980	1312	1089	858	366	—
Frankreich	4687	2802	1111	1784	1991	1800	2186	2400
Großbritannien .	7786	7961	8485	9344	9909	9745	8020	9202
Rußland	4915	4808	4979	4850	—	—	—	—
Belgien	2467	1316	99	99	10	10	334	1239
Österreich	2688	2191	2686	3337	2921	1764	—	—
Kanada	1060	752	926	1296	1575	1717	936	—
Schweden	591	507	600	614	581	546	469	—
Italien	846	716	1009	1269	1332	993	732	—
Spanien	242	382	387	323	470	—	—	—

Welche ungeheure Steigerung die Roheisengewinnung in den letzten Jahrzehnten in den drei wichtigsten Eisen erzeugenden Ländern erfahren hatte, besonders in Deutschland und den Vereinigten 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	10 647 000
1916	13 292 591	40 066 000	9 063 000

Den größten Anteil an der Roheisenerzeugung in Deutschland hatte 1913 Rheinland-Westfalen (ohne Saarbezirk und Siegerland) mit etwa 42,5%, den zweitgrößten Lothringen und Luxemburg 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, Lahnbezirk und Hessen-Nassau zusammen mit 5,2%. Endlich folgten Bayern, Württemberg und Thüringen zusammen mit nur 1,6%.

Über die Zahl der Hochofenbetriebe usw., in denen die oben aufgeführten Roheisenmengen des Deutschen Reiches erzeugt wurden, ihren Rohstoffverbrauch, sowie die Menge und den Wert ihrer Erzeugnisse, geben die folgenden Übersichten Aufschluß.

Hochofenbetriebe.

	1913	1914	1915	1916	1917
Zahl der Betriebe . . .	93	91	87	88	88
Zahl der beschäft. Personen ¹⁾	41908	34047	26706	29710	35724
Hochofen am Jahres- schluß	330	328	326	329	336
Hochofen, durchschn. im Betrieb (Wochen) . . .	313	303	222	251	272
Gesamtbetriebsdauer d. letzteren (Wochen) . . .	1530	11531	10295	11600	12634

1) Berufsgenossenschaftlich versicherte Personen. Dies gilt auch für die betr. Angaben bei den übrigen Betrieben.

	1913	1914	1915	1916	1917
Rohstoffverbrauch der Hochofen in t:					
Eisen- u. Eisenmangan- erze	37833604	27640524	23559463	26619892	26146792
Manganerze mit mehr als 30 % Mn	700832	458513	153888	94083	45997
Kiesabbrände, Rück- stände usw.	1523871	1255514	777058	608984	487542
Bruch Eisen (ausschl. der Hochofenbetr.)	208133	178364	338267	1140268	1311366
Schlacken, Sinter aller Art	3896333	2220031	2162543	2953777	3347677
Zuschläge (Kalkstein, Phosphatfalk usw.) ..	3434740	2789607	2374185	2875523	2828389
Koks	19114748	13998282	11347069	14066865	14881978
Holzkohlen	8974	7710	8113	6779	5707
Erzeugnisse der Hochofen in t:					
Gießereiroh Eisen	3374802	2328463	2063681	1821608	1792004
Gußwaren I. Schmel- zung	104509	75913	60721	64718	60283
Bessemerroh Eisen	375348	232490	179560	132760	139555
Thomasroh Eisen	9867644	7539155	5789730	6732316	6809422
Stahl Eisen, Spiegel- eisen usw.	2550698	2028655	1766886	2367779	2525355
Puddelroh Eisen (ohne Spiegeleisen)	463910	352154	273630	199085	195699
Bruch- u. Waf Eisen ..	26898	24337	20513	23811	18850
Verwertbare Schlacke ..	1876334	1586508	1453428	1589421	1782247
Wert der vorgenannten Erzeugnisse in 1000 M:					
Gießereiroh Eisen	230820	156446	167014	183007	263097
Gußwaren I. Schmel- zung	10157	7419	6896	8883	16102
Bessemerroh Eisen	27260	16857	16531	17015	25350
Thomasroh Eisen	579918	426582	376905	502360	810178
Stahl Eisen, Spiegel- eisen usw.	209078	163214	160992	266937	394495
Puddelroh Eisen (ohne Spiegeleisen)	29458	22046	20154	18027	26297
Bruch- u. Waf Eisen ..	1232	1170	1045	1217	1763
Verwertbare Schlacke ..	1847	1897	2514	3797	4303

Die wichtigsten statistischen Angaben über die Erzeugung des schmiedbaren Eisens enthalten die folgenden Übersichten:

Schweißeisen-(Puddel-)werke.

	1913	1914	1915	1916	1917
Zahl der Betriebe.....	31	26	24	20	20
Zahl der beschäft. Personen	2698	1709	1236	1049	1279
Betriebsvorricht. am Jahres- schluß:					
Puddelöfen.....	276	230	226	187	183
Schweißöfen.....	42	28	28	30	23
Zementieröfen, Raffi- nierstahl- u. Schmiede- feuer.....	8	4	5	3	3
Rohstoffverbrauch der Schweißeisenwerke in t.					
Roheisen.....	222680	133181	100396	92355	96621
Schrott.....	19172	15762	11202	15428	24540
Zuschläge (Eisenerze usw.)	6025	4693	2931	1053	2092
Erzeugnisse der Schweißeisenwerke in t.					
Schweißeisen.....	212203	129144	98704	92816	101516
Raffinier- u. Zementier- stahl.....	946	466	415	407	582
Berwertbare Schlacken..	48409	31283	23871	19863	26349
Wert der vorgenannten Erzeugnisse in 1000 M.					
Schweißeisen.....	21988	12599	10664	13366	18368
Raffinier- u. Zementier- stahl.....	560	300	327	354	544
Berwertbare Schlacken..	792	489	380	501	736

Flußeisen- und Flußstahlwerke.

	1913	1914	1915	1916	1917
Zahl der Betriebe.....	106	106	104	112	112
Zahl der beschäft. Personen	42118	36766	36947	43703	51168
Betriebsvorricht. am Jahres- schluß:					
Thomasmirnen.....	109	109	109	108	110
Bessemerbirnen.....	13	11	15	23	28
Martinöfen, basisch....	382	394	397	418	447
„ sauer.....	50	47	57	50	52
Elektrostahlöfen.....	27	32	35	41	52
Tiegelöfen.....	116	101	98	94	84

	1913	1914	1916	1916	1917
Rohstoffverbrauch der Flußeisen- und -stahlwerke in t.					
Roheisen	13327205	10492160	8915720	10151997	9868591
Schrott	5578922	4600689	4532573	5630038	5897107
Eisenerze	297001	260638	199541	209823	190780
Zuschläge (Kalkstein usw.)	1776822	1411504	1272344	1501037	1504357
Erzeugnisse der Flußeisen- und -stahlwerke in t.					
Rohblöcke aus:					
Thomasbirnen	9225953	7046222	5572623	6432521	6278055
Bessemerbirnen	146831	95700	145724	118852	103196
Martinöfen, basisch...	7124004	5932129	5394513	6416072	6865608
" sauer.....	293920	286830	271463	316206	229030
Tiegelöfen	79702	80994	89989	104796	104488
Elektrostahlöfen	72398	78789	124238	213007	198475
Stahlformguß	204552	189834	411470	638608	543071
Schlacken f. Thomasmehl	2279882	1767556	1408394	1650091	1615604
Anderer Schlacken.....	1002023	868832	811734	1084066	1008904
Wert der vorgenannten Erzeugnisse in 1000 M.					
Rohblöcke aus:					
Thomasbirnen.....	751138	547970	548058	777018	970840
Bessemerbirnen	15333	10242	17631	18792	22105
Martinöfen, basisch...	638989	515123	582885	862561	1227592
" sauer.....	28819	29601	31966	46780	54253
Tiegelöfen	34131	36903	46972	60105	82178
Elektrostahlöfen	17991	21111	39161	58718	70731
Stahlformguß	65680	64401	195868	292337	299181
Schlacken f. Thomasmehl	46560	36548	31118	43059	45406
Anderer Schlacken.....	5060	4396	4520	10565	13381

Walzwerke

(mit und ohne Schmiede- oder Preßwerke).

	1913	1914	1915	1916	1917
Zahl der Betriebe ..	174	173	179	183	188
Zahl d. beschäft. Pers.	128785	112465	102752	122229	142849
Verbrauch der Werke in t:					
Rohblöcke.....	16264217	13321964	11423305	13688041	13384333
Flußeisen- u. -stahl- halbzeug	3050957	2342141	2233429	2943797	3063689
Schweißeisen und Schweißeisenhalbzeug	183345	134263	98328	127167	132920
Abfallerzeugnisse (Ab- fallenden usw.)	85978	60118	41402	40561	54862

	1913	1914	1915	1916	1917
Erzeugnisse der Walzwerke usw. in t:					
Halbzeug f. d. Absatz	2938023	2308728	2121880	2670867	2878048
Fertigerzeugnisse:					
Eisenbahnoberbau- zeug	2330430	1785065	1325474	1096108	925988
Träger (Formeisen v. 80 mm Höhe u. m.)	1347462	1076615	688221	773674	522688
Stab- u. Formeisen (unter 80 mm Höhe)	4119046	3324579	2988866	3865786	3934292
Bandeisen	383029	308376	271858	348925	347988
Walzdraht	1090823	879657	688780	903571	863760
Grobbleche (5 mm stark u. darüber) ..	1310876	1071672	891116	914258	745091
Feinbleche (unter 5 mm Stärke)	870372	706426	609496	772234	800759
Weißblech	83074	85951	92731	58498	51486
Röhren	691711	536959	403394	481232	392204
Rollendes Eisen- bahnzeug	372193	276924	188761	228484	250754
Schmiedestücke	212086	195432	291519	382984	403830
Anderer Fertig- erzeugnisse	331745	148242	350880	650773	1018930
Abfallerzeugnisse (Abfallenden u. ver- wertb. Schlacken) .	3380701	2862080	2638952	3258972	3103811
Wert der vorgenannten Erzeugnisse in 1000 M:					
Halbzeug f. d. Absatz	269872	204138	250575	408858	565394
Fertigerzeugnisse:					
Eisenbahnoberbau- zeug	280437	215135	164755	161300	189830
Träger (s. oben) ...	156337	122440	84667	140359	117241
Stabeisen (s. oben) .	488863	369573	462903	776744	1038621
Bandeisen	57322	41152	42792	78151	112760
Walzdraht	127643	96421	89281	149701	202736
Grobbleche (s. oben)	176215	131364	125778	170309	205261
Feinbleche (s. oben)	153252	117051	127881	234805	359008
Weißblech	29346	32292	43869	30051	32058
Röhren	176856	136360	126911	202303	213462
Rollendes Eisen- bahnzeug	80741	59509	42966	58263	92246
Schmiedestücke	83519	90299	173480	242623	344186
Anderer Fertig- erzeugnisse	97304	54905	182172	409309	862472
Abfallerzeugnisse (Abfallenden u. ver- wertb. Schlacken) .	170256	135493	135328	199962	250081

Eisen-, Temper- und Stahlgießereien
(einschl. Kleinbessereien).

	1913	1914	1915	1916	1917
Zahl der Betriebe	1574	1600	1404	1439	1474
Zahl d. beschäft. Personen.	154300	131015	118596	122237	139195
Betriebsvorrichtungen am Jahresschluß:					
Kuppelöfen	2979	3001	2758	2870	3005
Flammöfen	110	123	118	112	112
Martinöfen	102	111	131	168	184
Temperöfen	659	660	634	711	816
Tiegelöfen	1402	1412	1308	1226	1159
Elektrostahlöfen	3	4	12	3	9
Kleinbesserbirnen	60	64	111	160	188
Rohstoffverbrauch der Eisen-, Temper- u. Stahlgießereien in t:					
Roheisen	2755876	2186326	2016553	1886978	1917478
Schrott	893586	718842	873044	978864	1320935
Erzeugnisse der Eisen-, Temper- u. Stahlgießereien in t:					
Roher Eisen- u. Stahlguß.	3261083	2567597	2543064	2416878	2771628
Emaillierter oder auf an- dere Weise verfeinerter Eisenguß	83132	60266	35804	57769	43664
Wert der vorgenannten Erzeugnisse in 1000 M:					
Roher Eisen- u. Stahlguß.	661425	528934	679553	854679	1385650
Emaillierter oder auf an- dere Weise verfeinerter Eisenguß	31153	22924	16778	30591	36945

Die Zahl der in den Jahren 1913—1917 in den oben aufgeführten fünf Betriebszweigen der Eisen- und Stahlindustrie des Deutschen Reichs, also auf den Hochofen-, Schweiß-, Flußeisen- und Walzwerken sowie den Eisen- und Stahlgießereien beschäftigten berufsgenossenschaftlich versicherten Personen sowohl als auch die Höhe der an sie gezahlten Gehälter und Löhne geht aus der Schlußübersicht hervor:

	1913	1914	1915	1916	1917
Zahl d. beschäft. Personen . . .	369809	316002	286237	318928	370215
An diese ausgezahlte Löhne und Gehälter	558746000	466416000	458281000	574618000	829458000

Diese in der Eisen- und Stahlindustrie in den genannten Jahren beschäftigten Personen ernährten über 700 000 Angehörige, so daß von der eigentlichen Großindustrie damals über eine Million Menschen lebten. Rechnet man hierzu noch die $1\frac{1}{2}$ Millionen Menschen (mit mehr als 2 Milliarden Löhnen), die in der ebenfalls auf dem Eisen gegründeten Maschinen- und Kleineisenindustrie beschäftigt waren und 3 Millionen Angehörige ernährten, so lebten also vor dem unglücklichen Ausgang des Krieges $5\frac{1}{2}$ Millionen Menschen von ihrer oder ihres Ernährers Tätigkeit in der Eisenindustrie, d. h. etwa jeder 15. Einwohner Deutschlands verdankte seine Lebensmöglichkeit unserer blühenden Eisenindustrie.

III. Das reine Eisenmetall und die Eisentohlenstofflegierungen.

Grundstoffe. Alle uns umgebenden natürlichen und künstlichen Stoffe bestehen aus chemischen Elementen, die sich gegenwärtig durch keinerlei Mittel weiter in andere Stoffe zerlegen lassen.¹⁾ Die chemischen Elemente oder Grundstoffe teilt man seit langem in die beiden, übrigens nicht ganz scharf voneinander trennbaren Gruppen der Metalle und Nichtmetalle, von denen man neuerdings noch die Gruppe der verbindungsunfähigen Edelgase abgezweigt 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 sind u. a. He-

1) Mit Ausnahme einiger weniger Elemente wie Radium.

lium und Argon. 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 einen auffallenden Glanz aus, der den Nichtmetallen fehlt. Die Leitfähigkeit der Metalle für Elektrizität und Wärme übertrifft die der Nichtmetalle fast durchweg sehr erheblich. Die Sauerstoffverbindungen der Metalle bilden mit dem Wasser meist Basen, die der Nichtmetalle dagegen Säuren. Die Verbindungen von Metallen mit Nichtmetallen werden durch den elektrischen Strom stets so zerlegt, daß sich das Metall am negativen, das Nichtmetall am positiven Pol abscheidet.

Das reine Eisenmetall und seine Eigenschaften. Von allen oben genannten Metallen ist naturgemäß das Eisen für den Eisenhüttenmann das wichtigste. Zwar findet reines Eisenmetall, also das Element Eisen, 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 beträgt 7,876. Für die Metallurgie ist von besonderer Bedeutung, daß das Eisen, zumal im geschmolzenen Zustande, die Eigenschaft hat, mit großer Begierde andere Stoffe aus seiner Umgebung in sich aufzulösen, z. B. Kohlenstoff, Silizium, Mangan, Schwefel, Phosphor, Sauerstoff und Stickstoff. Das ist schon einer der Gründe, die eine Darstellung chemisch reinen Eisens im großen in der Technik nahezu unmöglich machen. Der Grad der Lösungsfähigkeit des Eisens für die einzelnen Elemente oder Verbindungen dieser Elemente ist sehr verschieden und hängt bei allen auch noch von der jeweiligen Temperatur des Eisens 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 1528° . 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 unzählig 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 (Kristallisationszentren) 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 ihrer verschiedenen Lage zur Schlißfläche werden die einzelnen Kristalliten vom Ätzmittel verschieden stark angegriffen, werfen infolgedessen das Licht nicht in gleichem Maße zurück und erscheinen daher teils heller, teils dunkler in mannigfaltigen Abstufungen.

Das reine Eisenmetall ist zwar zähe, aber wenig fest und sehr weich, daher für die meisten Zwecke nicht verwendbar, ein weiterer Grund dafür, daß es in der Technik im Großen kaum dargestellt wird. Die elektrische Leitfähigkeit reinen Eisens ist, wenn auch weit geringer als beim Kupfer, immer noch verhältnismäßig gut; der Leitwiderstand ist 0,0994 Ohm bei 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt. Eine der kennzeichnendsten Eigenschaften reinen Eisens ist seine vorzügliche, von keinem anderen Metall erreichte Magnetisierbarkeit. Den Magnetismus verliert es aber im Gegensatz zum kohlenstoffhaltigen Stahl bald wieder, wenn der magnetisierende Einfluß aufgehört hat. Nach der Erhitzung auf 768° ist das Metall so gut wie gar nicht mehr magnetisierbar. Von sonstigen Eigenschaften des reinen Eisens sind noch seine vorzügliche Schmiedbarkeit und Schweißbarkeit hervorzuheben.

Zusammengesetzte Stoffe. Die meisten Stoffe bestehen nicht aus einem chemischen Element, sondern sind aus zwei oder mehr solchen Grundstoffen aufgebaut. Die zusammengesetzten Stoffe teilt man in gleichartige (homogene) und ungleichartige (inhomogene). Zur ersten Gruppe zählt man jeden Stoff, der in keinem Punkte, auch nicht in den winzigen Teilchen, die sich auf irgendeine Weise (z. B. 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, wie das reine (destillierte) Wasser, das immer 2 · 1,008

Gewichtsteile Wasserstoff und 1 · 16,00 Gewichtsteile Sauerstoff enthält, kann das physikalische Gemisch (die echte Lösung) die am Aufbau beteiligten Elemente innerhalb der Grenzen der gegenseitigen Mischbarkeit (Löslichkeit) in beliebigen Mengenverhältnissen enthalten. So ist z. B. eine Lösung von Salmiak in Wasser als physikalisches Gemisch anzusehen, weil Wasser dieses Salz je nach der Temperatur in den verschiedensten Mengen aufzulösen vermag, so daß also die chemische Zusammensetzung der Lösung bei verschiedenen Wärmegraden erhebliche Abweichungen aufweist. Die physikalischen Gemische sind nicht zu verwechseln mit den mechanischen Gemengen, die zur Gruppe der inhomogenen Stoffe gehören, weil sie aus verschiedenartigen Teilchen bestehen, die sich mit Hilfe eines scharfen Mikroskops, wenn nicht schon mit bloßem Auge oder auf sonstige Weise voneinander unterscheiden lassen, wie das aus Kohle, Schwefel und Salpeter bestehende Schießpulver, das diese Stoffe in fein gemengtem Zustande enthält. Die physikalischen Gemische oder echten Lösungen kennt man nicht nur im flüssigem Zustande, wie ihn die oben erwähnte Salmiaklösung aufweist, sondern auch im gasförmigen und festen. Zu den gasförmigen Lösungen gehören alle Gasgemische, z. B. die hauptsächlich aus Stickstoff, Sauerstoff und Kohlendioxyd zusammengesetzte Luft. Feste physikalische Gemische oder „feste Lösungen“ sind u. a. die meist in amorphen Zustände befindlichen, aus verschiedenen Silikaten bestehenden Glasarten, ferner gewisse Mineralien, wie der aus Kalzium- und Magnesiakarbonat aufgebaute Dolomit. Solche kristallisierten festen Lösungen werden auch „Mischkristalle“ genannt.

Legierungen. Zu den flüssigen echten Lösungen gehören u. a. die geschmolzenen Legierungen. Mit Legierungen bezeichnet man nicht nur Gemische von Metallen untereinander, sondern 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 sie sind metallische Eigenschaften aufweisende Gemische von Eisen mit Nichtmetallen, wie z. B. mit 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 Legierungsbestandtheil 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. Härte, Festigkeit, Elastizität und Zähigkeit des Metalls steigern oder vermindern, die Leitfähigkeit für Elektrizität verbessern oder herabsetzen, den Schmelzpunkt erniedrigen oder erhöhen, die Schmiedbarkeit und Schweißbarkeit fördern oder beeinträchtigen 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 nach der obigen Erklärung alle technischen Eisensorten im geschmolzenen Zustand 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, bei sehr hohen Temperaturen flüssig wird, das Lösungsmittel der letzteren, das Wasser, dagegen bei verhältnismäßig niedrigen Wärmegraden. Da an der Zusammensetzung der technischen Eisensorten eine ganze Reihe von Elementen beteiligt ist, die zwar im flüssigen Eisen löslich sind, aber nicht oder nur zum Theil im festen, zumal wenn es bis zu gewöhnlichen Tagestemperaturen herab abgekühlt ist, so kristallisieren sie 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 zusammenhängenden inhomogenen dichten Hauswerk von richtungslos durcheinanderliegenden Kristalliten der verschiedensten Art, nämlich festen Lösungen, chemischen Verbindungen und Elementen. Nur in solchen besonderen Fällen, in denen infolge der chemischen Zusammensetzung oder der Art der thermischen Behandlung (z. B. durch sehr schnelle 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 homogener Stoff wie das reine Eisenmetall, das ja chemisch einheitliche Zusammensetzung haben muß, weil es nur aus dem einen Element besteht.

Kleingefüge. Durch die Beschaffenheit und 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 der Ausbildung seines Kleingefüges ab. Daher ist es von außerordentlicher Wichtigkeit, die Zusammensetzung, Größe, Form und gegenseitige Anordnung der einzelnen Gefügebestandteile kennenzulernen. Um sich einen Einblick in das Kleingefüge 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 vorausgegangener 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 seine ganze Entstehung von der beginnenden Erstarrung an bis zur völligen Erhaltung zu verfolgen. Dies geschieht in der Hauptsache durch ein Untersuchungsverfahren, das man thermische Analyse nennt. Der geringe Umfang des vorliegenden Werkchens gestattet nicht, auf die Entstehung des Kleingefüges der technischen Eisensorten näher einzugehen, auch das fertige Gefüge kann im folgenden nur in ganz großen Umrissen kurz berührt werden. Da der Kohlenstoff von allen in den gewöhnlichen technischen Eisensorten enthaltenen Elementen den weitaus größten Einfluß auf das Kleingefüge hat, so genügt es hier, vom Gefügebau der reinen Eisenkohlenstofflegierungen zu sprechen. Daraus läßt sich derjenige der technischen Eisensorten leicht ableiten, zumal ein wesentlicher Unterschied in ihrem Gefüge und dem der genannten Legierungen nicht besteht.

Kristallisation und Kleingefüge der Eisenkohlenstofflegierungen. In den für die Technik in Betracht kommenden 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 beendigter 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 (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, das für alle derartigen flüssigen und festen Lösungen gilt, deren Bestandteile bei höheren Temperaturen noch löslich ineinander sind, bei niedrigeren aber nicht mehr, vollziehen sich diese Umwandlungen der Eisenkohlenstofflegierungen in folgender Weise: Die Legierung mit 0,9% C behält den gesamten Kohlenstoff bis herab zu 710° (Umwandlungstemperatur) unverändert in fester Lösung, um dann bei dieser Temperatur in ein inniges Gemenge 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 Gehalt (0,9% C) erreicht hat. Dann zerfällt dieser Rest bei 710° in das Gemenge 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 Gehalt von 0,9% C erreicht hat und dann bei 710° in das Eisen-Eisenkarbidgemenge zerfällt.

Das Gemenge von Eisen und Eisenkarbid erscheint bei nicht allzu scharfer Vergrößerung im Schliff 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 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 z. B. 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 unzerlegt 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⁾, 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 Umwandlungszone 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°

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

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 dem Umfange, 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 demgemäß nur teilweise festgestellt. Immerhin liegen schon umfangreiche Ergebnisse vor, besonders 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 Perlit 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 Glüh Temperatur 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 Korns, eher sogar eine Vergrößerung herbei. Noch feiner wird das Korn, wenn ein schmiedbares Eisen nach sachgemäßer Glühdauer und aus geeigneter Glüh Temperatur abgeschreckt und dann angelassen wird. Eine Kornverfeinerung, die auch diejenige durch sachgemäßes Glühen 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 (Korngefüge). In anderen Fällen legen sich Ferrit oder Zementit neßförmig um die einzelnen Perlit-

körner herum (Netzgefüge), oder aber die Anordnung dieser Gefügebestandteile ähnelt dem Gefüge in den Meteoriten (Widmannstätten'sche Struktur). Oft beobachtet man auch das sog. Zeilengefüge, bei dem die Gefügebestandteile durch die Einwirkung der mechanischen Behandlung in der Streckrichtung in parallelen Reihen angeordnet sind.

IV. Die Eigenschaften des technisch verwerteten Eisens.

Kein anderer metallischer Stoff wird auch nur in annähernd so großer Menge von dem 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 durch letztere weiterhin so viele vorzügliche Eigenschaften erhalten kann, daß es zur Herstellung einer 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 III. Abschnitt hervorgeht, einmal dadurch, daß es mit verschiedenen Elementen in mehr oder weniger großer Menge legiert wird, und weiterhin dadurch, daß man die betr. Legierungen oft noch einer mechanischen Behandlung durch Schmieden, Pressen, Walzen, Ziehen usw. unterwirft oder einer thermischen Behandlung durch mehr oder weniger schnelles Abkühlen, Erhitzen auf gewisse Temperaturen bestimmte Zeiten hindurch u. dgl. oder endlich sowohl einer mechanischen als auch einer thermischen Behandlung. 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, Lunken 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 (Gewerbeeigenschaften) 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 entgegensetzt. Je nach der Art der Beanspruchung durch äußere Kräfte unterscheiden wir zwischen Zug-, Druck-, Biegungs-, 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 an gibt, 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 in hohem Grade vertreten. Bei den gewöhnlichen Eisensorten hat der Kohlenstoff den größten Einfluß auf die Zugfestigkeit. Während reines gewalztes 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 100 kg zu erreichen. Bei noch höheren Gehalten an diesem Element sinkt die Festigkeit wieder schnell. Im grauen Roheisen trägt besonders der zwischen den eisenhaltigen Bestandteilen abgeschiedene mürbe Graphit sehr zur Verminderung der Festigkeit bei, zumal wenn er sehr grobkristallinisch ist. Silizium und Mangan wirken im schiedbaren 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, die hauptsächlich Anwendung im Automobil- und Flugzeugbau finden, wo es auf hochbeanspruchte Teile mit geringem Querschnitt ankommt, haben im allgemeinen eine Streckgrenze von 50—150 kg/qmm, eine Festigkeit von 75—170 kg/qmm bei Dehnungen von 7—20% und Schlagfestigkeiten von 7—15 mkg/qmm. Sehr ungünstig wirken Phosphor und Schwefel auf das Eisen ein; ersterer macht es kaltbrüchig, d. h. er vermindert die Zähigkeit so, daß es bei Bearbeitung oder stärkerer Beanspruchung im erkalteten Zustande leicht bricht, letzterer dagegen ruft Rotbruch hervor, also Zerbrechen bei Behandlung in Rotglut.

Auf den nachteiligen Einfluß, den Seigerungen, Schlackeneinschlüsse, Punker, Gasblasen (S. 49 u. 50) und Spannungszustände, welche letztere hauptsächlich infolge ungleichmäßiger Wärmebehandlung, besonders 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 Festig-

keitseigenschaften 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 hauptsächlich von den Gefügebestandteilen des Eisens und Kohlenstoffs die Rede sein. Die Härte ist desto größer, je mehr harte Gefügebestandteile 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 steigendem 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 (Roheisen, Gußeisen) 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 oder Temperkohle. Aus dem gleichen Grunde wirkt auch ein höherer Mangangehalt in den kohlenstoffreichen technischen Eisensorten härtesteigernd, 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. Diese 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 Leitfähigkeit 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 (S. 35) 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, das den Magnetismus besonders leicht aufnimmt, 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 hohem Gehalten an Chrom und Nickel als besonders geeignet erwiesen, gegen Angriff konzentrierter Salpetersäure ist ein hochprozentiger Siliziumeisenfluß 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 (Nickel, Zink, Zinn) usw.

Schmelzbarkeit. Der Schmelz- und Erstarrungspunkt des reinen Eisenmetalls, der bei 1528° liegt, wird bis zu einem gewissen Höchstgehalt durch steigenden Zusatz an Kohlenstoff in immer tiefere 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, beendigt 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 Abschnitten 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 (Schweiß-eisen).

Schwindung, Runterung, Gasblasenbildung, Seigerung. Bei der Erstarrung und folgenden Abkühlung zeigen die technischen Eisensorten oft die vorgenannten Eigenschaften, die der weiteren Verarbeitung und späteren Verwendung mehr oder weniger ungünstig sind. 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. 56) 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 sich meist an der Stelle 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 „Warmreckverfahren“ 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 Bruche.

Von besonders großer Wichtigkeit für alle „Warmreckverfahren“ ist die Wahl der geeignetsten Temperaturen. Man hat sich hierbei stets vor Augen zu halten, daß diese Verfahren immer einen Doppelpurpose 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 liegt, 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 usw.) bezweckt. Am günstigsten ist es nach den Ausführungen im dritten Abschnitt, 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 Kaltrekarbeit, die hauptsächlich bei Bearbeitung sehr dünner Bleche oder Drähte in Betracht 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 diesen 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 Kaltziehen 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 diejenige 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 auch das Schweißisen, wie schon sein Name besagt, und zwar aus folgendem Grunde: Zur Herbeiführung einer guten Schweißung sind reine metallische Flächen an der Schweißstelle Grundbedingung. Diese lassen sich nun beim Schweißisen viel leichter erzielen als beim Flußeisen, weil der Schlacken Gehalt des ersteren die zusammenzuschweißenden Flächen mit einer dünnen Schicht überzieht, die das Eisen zunächst vor der bei den hohen Schweißtemperaturen schnell eintretenden Oxydation durch die Luft schützt, dann aber beim Aufeinanderpressen der betr. Stücke infolge der großen Dünnschmelzbarkeit nach allen Seiten hin entweicht, so daß Metall mit Metall auf der ganzen Fläche unmittelbar in Berührung kommt.

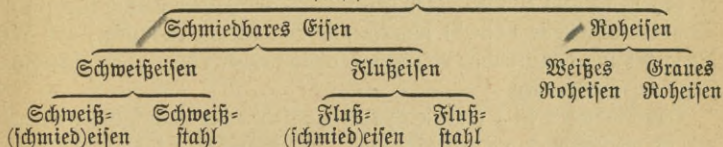
Härtbarkeit. Härtbar nennt man alle diejenigen technischen Eisensorten, die nach sehr schneller Abkühlung (Abschrecken) aus höheren Temperaturen (Rotglut oder Weißglut) eine größere Härte haben als bei langsamer Abkühlung. Worauf die Härtbarkeit beruht, geht bereits aus dem Abschnitt über Härte hervor. 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 Nickel-

Stähle 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 gewissermaßen in gehärtetem Zustande und heißen daher selbsthärtende Stähle.

V. Einteilung und Benennung des technisch verwerteten Eisens.

Die Einteilung der technischen Eisensorten ist aus folgendem Schema ersichtlich:

Technisch verwertetes Eisen



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. 51). 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% C in der Technik kaum, solche mit 2 bis 2,5% C nur für einzelne Sonderzwecke verwendet werden, und ist auch undurchführbar, weil der Übergang von schmiedbarem zu nicht schmiedbarem Eisen ganz allmählich stattfindet und weiterhin jedes der übrigen, im technischen Eisen ent-

haltenen Elemente die Schmiedbarkeit beeinflusst, also die Grenze je nach dem Gehalt in der einen oder anderen Richtung verschiebt. Da diese Elemente übrigens ebenso wie der Kohlenstoff mit zunehmender Menge die Schmiedbarkeit verringern, so müssen die gewöhnlichen 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 teigartigen 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, während das Roheisen, in dem das bei einer bestimmten, verhältnismäßig niedrigen Temperatur (nahe 1130°) schmelzende Eutektikum vorwiegt, sich bei der Erhitzung unmittelbar verflüssigt, 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 weitaus größten Teil in Form von Eisenkarbid (Zementit) oder fester Lösung (Martensit) auftritt, grau, wenn er vorwiegend als Graphit oder Temperkohle ausgeschieden ist.

Das schmiedbare Eisen hat zwei Unterabteilungen: Schweiß Eisen und Flußeisen. Schweiß Eisen ist, da es immer in einem teigartigen Zustand gewonnen wird, in dem sich Schlacke und Eisen nur zum Teil voneinander zu trennen vermögen, stets stark schlackehaltig, während Flußeisen nahezu frei von Schlacke ist, weil diese wegen ihres dem Eisen gegenüber geringeren spezifischen Gewichts in dem in flüssigem Zustande gewonnenen Metall bis an seine Oberfläche hochsteigen und dort durch Abziehen oder dgl. vom Eisen getrennt werden kann. Das Schweiß Eisen wird weiter eingeteilt in die beiden Untergruppen: Schweißschmied Eisen (für gewöhnlich abgekürzt einfach Schweiß Eisen genannt) und Schweiß Stahl, das Flußeisen in die Untergruppen: Flußschmied Eisen (meist abgekürzt Flußeisen) und Fluß Stahl.

Eine scharfe Grenze zwischen Schweißschmied Eisen und Schweiß Stahl gibt es ebensowenig, wie zwischen Flußschmied Eisen und Fluß Stahl. 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 schmied-

baren 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. 52), indem man mit Schmiedeisen alle nicht deutlich härtbaren, mit Stahl alle deutlich härtbaren Sorten bezeichnete. Wegen des allmählichen Übergangs von nicht deutlicher zu deutlicher Härtebarkeit hat man diese Eigenschaft aber jetzt als Unterscheidungsmerkmal aufgegeben. Auch einen bestimmten Kohlenstoffgehalt setzt man nicht mehr als Grenze zwischen Schmiedeisen 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 Flußschmiedeisen anzusprechen, während es bei demselben Kohlenstoffgehalt, aber mit 1 % Mangan ausgezeichnet härtbar ist und dementsprechend als Stahl zu bezeichnen wäre. Erst recht undurchführbar ist eine Unterteilung in Schmiedeisen und Stahl auf Grund der Härtebarkeit bei den schmiedbaren Sonderlegierungen des Eisens, nicht nur aus den genannten Gründen, sondern auch, weil es unter diesen Legierungen eine ganze Reihe gibt, die erhebliche Härtegrade 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 Schmiedeisen und Stahl angenommen werden, weil das Prüfungsergebnis, auf die Querschnittsfläche bezogen, 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 Schmiedeisen und Stahl festzusetzen, bezeichnet man in Amerika, England und Frankreich alle Sorten Flußeisen, 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 Schmiedeisen und Stahl in vielen Fällen ganz fallen zu lassen. So benennt man mit Elektrostahtl alles im elektrischen Ofen erzeugte Flußeisen, mit Stahlguß oder Stahlformguß alles im Tiegel-, Martin-, Elektroofen oder in der Birne hergestellte, unmittelbar in endgültige Gebrauchsformen gegossene Flußeisen, mit Sonder- oder Spezialstählen alle solchen Flußeisensorten, die eine ihrem bestimmten Sonderzweck angepasste Zusammensetzung haben, und zwar ohne Rücksicht auf Kohlenstoffgehalt, Härte oder Härtbarkeit. Auch wenn man die Begriffe Stahl und Eisen ohne nähere Angaben gegenüberstellt, versteht man unter Stahl im allgemeinen alles schmiedbare Eisen, besonders Flußeisen, unter Eisen die verschiedenen Roheisen- und Gußeisensorten.

In der Praxis pflegt man die technischen Eisensorten auch noch nach anderen Gesichtspunkten zu benennen. Die verschiedenen Roheisensorten z. B. bezeichnet man nach denjenigen 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. Hämatit ist ein phosphorarmes Gießereiroheisen mit höchstens 0,1% P, Spiegeleisen eine manganreiche Legierung mit Roheisencharakter.

Gußeisen oder Eisenguß ist ein aus Roheisen allein oder zusammen mit Bruch Eisen, Stahlabfällen und anderen Schmelzzusätzen in Kuppelöfen oder dgl. erschmolzenes, in Formen zu gießendes bzw. gegossenes Eisen. Man unterscheidet graues, halbgraues oder weißes Gußeisen, je nachdem im Bruchgefüge reichlich, wenig oder kaum ausgeschiedener Graphit vorhanden ist. Mit Temperguß oder schmiedbarem Guß bezeichnet man aus weißem Gußeisen gegossene, nachher durch Ausglühen in einem sauerstoffabgebenden Mittel (z. B. Roteisenstein) gefrischte und dadurch schmiedbar gemachte Gegenstände. Das Wort Temperstahlguß statt schmiedbarer Guß ist irreführend und daher zu vermeiden. Mit Stahlguß oder Stahlformguß darf man nur ein im Martin-, Tiegel-, Elektroofen oder in der Birne hergestelltes und dann

in Formen gegossenes Flußeisen bezeichnen. Der Ausdruck Gußstahl, womit man früher den in Tiegeln dargestellten Stahl kennzeichnete und jetzt teilweise auch noch andere Erzeugnisse benennt, ist überflüssig geworden und bringt nur Verwirrung, sollte daher nicht mehr angewendet werden.

Das schmiedbare Eisen wird oft nach demjenigen Verfahren benannt, durch das es hergestellt wird; man spricht also z. B. von Puddel-eisen, Thomasstahl, Martinflußeisen, Tiegel- und Elektro-stahl. Weiterhin kommen zur Bezeichnung technischer Eisensorten noch in Betracht der Verwendungszweck (daher Schienenstahl, Kanonenstahl, Werkzeugstahl, Konstruktionsstahl), sodann bestimmte Legierungsbestandteile, die auf die Eigenschaften der betr. Sorten besondere Einflüsse ausüben (Kohlenstoffstahl, Nickelchromstahl, Wolframstahl), ferner die äußere Form (Quadrat-, Flach-, Band-, Rund-, Profilleisen), schließlich die Namen von Erfindern, Herstellern usw. (Becker-, Boshardt-, Flexilis-, Haberland-, Phönix-Stahlguß). Zum Schluß seien noch die nach ihrer Leistungsfähigkeit benannten, durch ihre hohen Chrom- und Wolframgehalte ausgezeichneten Schnellschnittstähle (Schnelldreh-, Schnell-arbeitsstähle) erwähnt, die mit großer Geschwindigkeit Gegenstände bearbeiten (abdrehen, abhobeln, durchbohren, fräsen usw.) können, ohne dabei ihre Härte zu verlieren wie andere Stähle, die infolge der durch die große Reibung entstehenden Wärme eine Anlaßwirkung erfahren und dadurch wieder weich werden.

VI. 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, besonders des Kohlenstoffs und Wasserstoffs, mit dem Sauerstoff der Luft zu Kohlenäure und Wasserdampf. Diese Vereinigung

geht wie unzählig viele andere chemische Vorgänge unter Entwicklung mehr oder weniger erheblicher 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 vielen Fällen wird jedenfalls derjenige Brennstoff als der hochwertigste anzusehen sein, der bei sonst geeigneter Beschaffenheit auch den größten Heizwert 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 außer von der Zeit noch abhängig von der Einrichtung der Feuerungsanlage, der Menge des zur Verbrennung erforderlichen Luftüberschusses und anderen Verhältnissen. Im folgenden sind die gegenwärtig für das Eisenhüttenwesen wichtigsten Brennstoffe aufgeführt.

Natürliche Brennstoffe. Ein großer Teil der für gewöhnlich zur Wärmezeugung verwendeten 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, Torf, Braunkohlen. 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 sprechen auch die hohen Preise gegen eine weitgehendere Verwendung.

Steinkohlen. Dagegen spielen die Steinkohlen im Eisenhüttenwesen eine desto größere Rolle. Rund der dritte Teil aller gewonnenen Steinkohlen wird für die Gewinnung und Weiterverarbeitung des Eisens verwendet. Die Steinkohlen sind ebenso wie Torf und Braunkohlen die Reste von Pflanzen, die in früheren Zeiten auf der Erde wuchsen, nur sind die Steinkohlen um viele Millionen Jahre älter als die Braunkohlen und diese wieder als der Torf, auch sind sie

aus anderen Pflanzen und unter anderen Bedingungen entstanden 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 Gewichtsprozenten			Heizwert der reinen brennbaren Subst. in W. E.	Heizwert der rohen Substanz mit Wasser u. Aschebestandteilen in W. E.
		C	H	O		
Holz	Alluvium	50	6	44	4500	3600 Lufttrocken
Torf	{ Alluvium Diluvium	60	6	34	6500	3500—4500 Lufttrocken
Braunkohle	Tertiär	65—75	6	29—19	6500—7000	bis 5000 Lufttrocken
Steinkohle	vorwiegend Karbon	75—90	6—4	19—6	7700—8600	6500—8400
Anthrazit	vorwiegend Karbon	95	2	3	8500	7500—8000

Diese Zahlen geben nur Durchschnittswerte wieder, einzelne Braunkohlenarten haben weit über 5000 W. E. liegende Heizwerte, bestimmte Steinkohlensorten andererseits viel weniger als 6500 W. E. Jedenfalls erkennt man aus der Übersicht, daß der Kohlenstoffgehalt und mit ihm auch der Heizwert der genannten Brennstoffe im allgemeinen desto größer sind, je höher ihr geologisches Alter ist. Auch sonst schwanken die Eigenschaften der Steinkohlen in sehr weiten Grenzen. Dies zeigt sich z. B. besonders deutlich bei der Erhitzung unter Luftsabschluss, einem Vorgang, den man technisch „Verkokung“ nennt und bei dem die flüchtigen Bestandteile in Form von Gasen entweichen, während die nichtflüchtigen (besonders Kohlenstoff und mineralische Beimengungen) als Rückstand in dem luftdicht geschlossenen Raum zurückbleiben. Je geringer der Kohlenstoffgehalt und je höher der Sauerstoffgehalt der Reinkohle, desto größer ist bei der Verkokung im allgemeinen 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 der Beschaffenheit des Koks und der flüchtigen Bestandteile teilt man die Steinkohlen in verschiedene Gruppen ein.

Solche Kohlen, die bei der Verkokung das geringste Koksausbringen (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 Luftpabstschluß übrigbleibende Koks der vorher feingemahlten 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 Gasflammkohlen, deren Koks sintert (daher auch Sinterkohlen) d. h. in seinen Theilchen oberflächlich zusammenklebt, bisweilen auch schwach schmilzt, dann aber stark zerklüftet ist. Noch günstiger ist das Koksausbringen bei der mit mittlerer Flamme und weniger Rauch verbrennenden eigentlichen Fettkohle; es beträgt 68—82%. Da diese Kohlen bei der Erhitzung unter Luftpabstschluß zusammenbacken, werden sie auch Backkohlen genannt. Der Koks ist geschmolzen, fest, mäßig gebläht; die Fett- oder Backkohlen sind daher zur Koksdarstellung am besten geeignet (s. weiter unten). Die dann folgenden Magerkohlen liefern wiederum wie die Gasflammkohlen nur einen sinternenden Rückstand, werden daher zur Koksdarstellung nicht verwendet. Die Reihe der Steinkohlen wird beschloffen durch die sehr gasarmen, mit kleiner blauer Flamme fast rauchfrei verbrennenden anthrazitischen Kohlen und Anthrazite, deren Rückstand wie bei den Gasflammkohlen pulverförmig oder gefrittet ist bei einer Ausbente bis zu 90% und darüber.

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 zu Verfügung stehen, also z. B. an ihren Gewinnungsstätten in Nordamerika (Pennsylvanien) und Rußland (Baku).

Künstliche Brennstoffe. Die natürlichen Brennstoffe sind für manche Zwecke nicht in ihrem ursprünglichen Zustande verwertbar, selbst wenn sie einer sorgfamen Aufbereitung in der Sieberei und Wäsche unterzogen worden waren. Sie müssen daher oft zu künstlichen Brennstoffen weiterverarbeitet werden. In vielen Fällen werden künstliche Brennstoffe allerdings auch als Nebenerzeugnisse gewonnen und dann ebenfalls in großem Umfange nutzbar gemacht. Die künstlichen Brennstoffe werden ebenso wie die natürlichen in festem, flüssigem und gasförmigem Zustande verwertet.

Preßkohlen (Briketts). Diese werden sowohl aus Braunkohle als auch aus Steinkohle hergestellt. Während die Braunkohle zur Brikettherstellung nach vorhergegangener sorgfältiger Mahlung und Trocknung infolge ihres Harzgehaltes keines weiteren Zusatzes sondern nur hohen Druckes bedarf, muß der Steinkohle noch etwa 5% eines Bindemittels, z. B. Pech, vor der Pressung zugesetzt werden. Braunkohlenbriketts, die besonders in Eisengießereien zum Heizen von Trockenöfen u. dgl. verwendet werden, haben einen Heizwert von 4500—5500 W. E., Steinkohlenbriketts einen solchen von 7000—8000 W. E.

Holzkohle. 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. Gegenwärtig wird Holzkohle wegen ihres hohen Preises im größeren Umfange nur noch in kohlenarmen Eisenerzgebenden wie Schweden, Steiermark u. a. zur Eisendarstellung verwendet. In Deutschland wird Holzkohlenroheisen lediglich für gewisse Sonderzwecke in geringen Mengen erzeugt, und zwar bei Schmalkalden (Thüringer Wald), und bei Rübeland (Harz).

Koks. Statt der Holzkohlen versuchte man später notgedrungen Steinkohlen zur Roheisendarstellung im Hochofen zu benutzen. 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. Viele Kohlenarten 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 müßte. Aus diesen Gründen sah man sich in Ermangelung eines anderen geeigneten natürlichen Brennstoffs nach einem künstlichen um, den man in Gestalt

des aus Steinkohlen (besonders Fettkohlen) gewonnenen Koks fand. Guter Koks ist fest und hart, daher sehr widerstandsfähig gegen Druck und Reibung, er sintert und backt 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 beide vorwiegend aus den von Natur beigemengten oder bei der bergmännischen Gewinnung hineingeratenen Mineralien stammen.

Der Koks wird meist gleich auf den Steinkohlenbergwerken selbst in allseitig geschlossenen Öfen, den Koksöfen, erzeugt. Aus den bei der Verkokung der Steinkohlen entweichenden Gasen werden zahlreiche wichtige Stoffe gewonnen, z. B. Teer, Teeröle, Naphthalin, Harze, Ammoniak und Kohlenwasserstoffe, wie Benzol, Toluol, Xylol. Das Ammoniak wird meist gleich an Ort und Stelle zu schwefelsaurem Ammoniak, einem sehr begehrten landwirtschaftlichen Düngemittel, weiter verarbeitet. Der Teer und die Kohlenwasserstoffe der Benzolreihe sind die Ausgangsstoffe zahlloser wertvoller Erzeugnisse, die in besonderen chemischen Fabriken daraus hergestellt werden. Das Haupterzeugnis der Kokereien, der Koks, muß, um die Bedingungen genügender Festigkeit, Härte und Porosität zu erfüllen, 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 Kokses 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 Kuppelofen verwendet. Dieser Gießereikoks wird auf den Kokereien aus dem Hochofenkoks meist herausgesucht. Er ist im allgemeinen kleinstückiger und soll nach Möglichkeit dichter und schwefelärmer als Hochofenkoks sein.

Künstliche flüssige Brennstoffe. Von diesen werden hauptsächlich die bei der Verkokung der Steinkohle gewonnenen Teeröle, Benzole u. dgl., aber auch die Destillationserzeugnisse des Erdöls, wie Benzin, Petroleum, Heizöle in der Eisenindustrie verwendet. Da der Heizwert der Teeröle etwa 9000 W. E., derjenige der letztgenannten Erzeugnisse sogar 10000 W. E. und mehr beträgt, ein flüssiger Brennstoff mit Hilfe von Düsen sehr feine sprühregenartige Verteilung zuläßt, daher auch mit geringem Luftüberschuß rauchfrei verbrannt werden

kann, ist die Wärmeerzeugung mit flüssigen Brennstoffen sehr wirtschaftlich und sauber durchzuführen. Da diese aber hohe Preise haben, werden sie meist nur zur Heizung kleinerer Öfen (Glühöfen u. dgl.) verwendet.

Künstliche gasförmige Brennstoffe spielen in der Eisenindustrie eine besonders große Rolle, einerseits weil sie auf den Hüttenwerken in großem Umfang als Nebenerzeugnisse gewonnen werden, andererseits weil die Heizung hiermit sehr große Vorteile hat, so z. B. für das Siemens-Martinverfahren, das sehr hohe Temperaturen erfordert. Diese lassen sich aber durch Verbrennung von Gasen verhältnismäßig einfach erzielen und zwar aus folgenden Gründen. Zur Durchführung einer vollständigen 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 fällt auch unter sonst gleichen Verhältnissen die durch die Verbrennung des Brennstoffs erzeugte Temperatur aus, weil die Luft einen Teil der entwickelten Wärmemenge zu ihrer eigenen Erwärmung verbraucht. Man muß daher die Verbrennung mit einem möglichst geringen Luftüberschuß betreiben. Dies ist aber bei einem gasförmigen Brennstoff für gewöhnlich viel einfacher durchzuführen als einem festen, weil sich Luft und Gas so leicht vermischen lassen, daß fast jedes kleinste Teilchen des Gases auch den zu seiner vollständigen Verbrennung notwendigen Luftsaurestoff unmittelbar neben sich hat, die Mehrzahl davon also auf einmal vollständig verbrennen kann. Die Verbrennungstemperatur gasförmiger Brennstoffe läßt sich weiterhin auch noch dadurch erheblich erhöhen, daß man sowohl dem Gas als auch der zur Verbrennung erforderlichen Luft schon vor der Verbrennung durch geeignete Vorwärmung einen möglichst großen Wärmevorrat mit auf den Weg geben kann (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 den Vorteil, daß sich die Temperatur im Ofen durch Veränderung der zugeführten Gas- und Luftmengen schnell und einfach regeln läßt und die Verbrennung rußfrei und sehr gleichmäßig vor sich geht. Nachteilig ist allerdings in den Fällen, in denen das Gas nicht als Nebenerzeugnis erhalten wird, sondern erst besonders dargestellt werden muß, daß zur Gasgewinnung aus dem festen Brennstoff Wärme in beträchtlicher Menge erforderlich ist, die für die Heizung selbst verloren ist.

Koksöfen- und Hochofengas. Von den auf Hüttenwerken verwerteten in Form von Nebenerzeugnissen gewonnenen künstlichen gasförmigen Brennstoffen sind das Koksöfen- und das Hochofen- oder Gichtgas die wichtigsten. Das bei der Verkokung der Steinkohlen entstehende, von Teer, Ammoniak, Benzolkohlenwasserstoffen usw. befreite Koksöfengas 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 Koksöfengase wird meist zur Beheizung der Koksöfen selbst gebraucht, während der Rest zur Erzeugung von Dampf, zum Antrieb von Gasmaschinen, zur Beleuchtung und auch zur Beheizung von Martinöfen verwendet wird. Um die hochwertigen Koksöfengase besser auszunutzen, ist man in letzter Zeit stellenweise schon dazu übergegangen, die Koksöfen mit Gichtgas oder minderwertigem Generatorgas zu beheizen und die Koksöfengase 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 VIII. Abschnitt zu finden.

Generatorgas. Da auf den meisten Hüttenwerken Koksöfengase bei weitem nicht in genügender Menge zur Heizung der Martinöfen zur Verfügung stehen, müssen in besonderen Generatoren Gase erzeugt werden. Von Gasgeneratoren ist eine sehr große Anzahl der verschiedensten Bauarten 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 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 Verbrennungsvorgangs abhängig. Ein gutes Generatorgas enthält in Raumteilen 26—32 % Kohlenoxyd, 8—12 % Wasserstoff, einige Hundertteile Methan und Kohlenäure und mehr

als 50 % Stickstoff. Der Heizwert der Generatorgase schwankt zwischen 1000 und 1500 W.E., ist also sehr viel geringer als derjenige der Koksofengase.

VII. 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 nach unseren bisherigen Kenntnissen der Erdoberfläche und des Erdinnern nur ganz vereinzelt und meist nur in sehr geringen Mengen vor. So findet man es z. B. besonders in trockenen Polargegenden in Form von nickelhaltigem Meteorereisen, das von zerstörten fremden Himmelskörpern stammt und beim Durchfliegen des Weltraums von der Erde angezogen wurde. Als Rohstoff für die Darstellung des Eisens im großen sind derartige natürliche Eisenlegierungen bedeutungslos. Hierfür kommen vielmehr nur einige wenige Eisenerze in Betracht, und zwar vorwiegend gewisse chemische Verbindungen des Eisens mit Sauerstoff (Oxyde) oder mit Sauerstoff und Wasserstoff (Hydroxyde) und die kohlen-saure Verbindung des Metalls (Eisenkarbonat), seltener die kiesel-saure (Eisen-silikat).

Die Eisenerze finden sich nur ausnahmsweise in chemisch reinem Zustande in der Natur, fast immer dagegen mit anderen Mineralien (Gangarten) vermenget. 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 enthalten Kalk (CaO), Kieselsäure (SiO_2), Tonerde (Al_2O_3), Magnesia (MgO), Phosphorsäure (P_2O_5), verschiedene Manganoxyde usw., die neben der sonstigen Beschaffenheit der Erze maßgebend für ihren Wert und ihre Verwertbarkeit sind. Vollständig unverwertbar für

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

den Eisenhüttenmann ist z. B. ein Erz, wenn es eine solche Menge an Gangarten und Nebengestein und dementsprechend so wenig Eisen enthält, daß sich seine Verhüttung auf Eisen mit wirtschaftlichem Erfolg 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. Ferner können solche Erze, die zwar einen genügend hohen Gehalt an Eisen, aber eine ungünstige chemische Zusammensetzung der Gangarten haben, für die Verhüttung nicht in Betracht kommen. Hierher gehören z. B. Erze mit einem zu hohen Gehalt an Kieselsäure, weil sie im Hochofen zur Verflüssigung der Schlacke eine übergroße Menge an kalkigen Zuschlägen (s. S. 70) gebrauchen und dadurch den Hochofenprozeß unwirtschaftlich machen würden. Andere an Eisen genügend reiche Erze endlich, wie Arsenkies (FeSAs) und Schwefelkies (FeS_2), lassen sich nicht auf Eisen verhütten, jedenfalls nicht ohne weiteres, weil Arsen und Schwefel in übermäßig großen 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, Eisenorydhydrat Fe_3O_4 , theoretisch möglicher Höchstgehalt an Eisen 72,4 %, natürlicher Gehalt 45—70 %. Das ausgedehnteste Magneteisenerzvorkommen liegt im nördlichen Schweden (Gellivara, Kirunavara und Luossavara). Der größte Teil dieser Erze wird in Deutschland und England verhüttet. Weitere berühmte Magneteisensteinvorkommen finden sich in Mittelschweden bei Grängesberg und bei Dannemora. Die phosphorfreien Erze von Dannemora 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, besonders in den Vereinigten Staaten von Amerika und Nordafrika. In Deutschland ist das kleine bei Schmiedeberg im Riesengebirge gelegene Vorkommen am bekanntesten.

Roteisenstein, Hämatit, Eisenoryd 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 auftritt. 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 wurde vor dem Kriege eine große Menge des Erzes nach Deutschland ausgeführt, jetzt wird England den Hauptanteil erhalten. 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 (Osnaabrück).

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 Eisenerzlagere-
*braun
 glask*
 stätte Europas ist das zusammenhängende in dem uns geraubten Lothringen, Luxemburg und Frankreich gelegene Minettevorkommen mit dem Mittelpunkte etwa bei dem lothringischen Dorfe Aumetz. Das Minettevorkommen bildete die wichtigste Quelle der deutschen Erzversorgung (vgl. S. 22). 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. 71). 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 Böhnerz bezeichnet. Neben viel Phosphor enthält es Mangan. Beim Zusammenschmelzen mit geeigneten Erzen bedürfen auch die Ilsefeder Böhnerze 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 Mangangehalt und von höchster Reinheit wird in Algier und Spanien gewonnen und hauptsächlich nach England ausgeführt. Sonstige Brauneisensteinvorkommen liegen im Ural, Osterreich-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-Ramsdorf, Schmalkalden) zu erwähnen.

Eine Abart des Brauneisensteins ist das phosphorhaltige Rasen-eisenerz (Wiesen-, Sumpf-, Seeerz), das besonders in der norddeutschen Tiefebene an vielen Stellen abgelagert war, hier aber bereits zum größten Teile abgebaut ist und daher für die Eisenindustrie kaum noch in Betracht kommt.

Spat Eisenstein (Siderit, FeCO_3), mit einem theoretischen Eisengehalt von 48,3 % und einem natürlichen von meist unter 40 %. Von außerdeutschen Spateisensteinlagerstätten ist diejenige in Steier-mark 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 Mangangehalt (5–7 %), dessentwegen er sich z. B. auch zur Spiegeleisendarstellung vorzüglich eignet.

Eine Abart des Erzes ist der Toneisenstein (Sphärosiderit), ein mit Ton innig gemengter Spateisenstein. Die Hauptfundstätten von Toneisenstein liegen in England (Yorkshire). Auch in Polen kommt das Erz in verhältnismäßig ausgedehnten, aber nur zum kleinen Teil abbauwürdigen Lagern bei Czenstochau vor. In Deutschland findet sich ein ausgedehntes, 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 Gehaltes an Eisen oder anderen Elementen für die Darstellung der technischen Eisensorten verwertet. Hierher gehören z. B. die Kiesabbrände, wie man die bei der Röstung der Schwefelkiese, d. h. ihrer Erhitzung unter Luftzutritt erhaltenen Rückstände der Schwefelsäuregewinnung nennt, die 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 u. dgl. ausgelaugte Kiese, vornehmlich Kupferkiese (CuFeS_2). Auch eisenreiche Schlacken, wie Keimfeuer-, 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 im Hochofen 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) außerordentlich 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 Beredelungsmittel, das in Form eines Zusazes von Ferromangan das geschmolzene Eisen vor einem Teil des Schwefels, besonders aber des durch das Frischen hineingebrachten Sauerstoffs befreit (Desoxydation). An manganhaltigen Eisenerzen, namentlich aber

an eigentlichen Manganerzen ist Deutschland leider sehr arm. Die Hauptvorkommen liegen in Südrußland, und zwar die wichtigsten im Kaukasus im Gouvernement Kutais. Die dortigen Erze, die durchschnittlich 50 % Mangan enthalten, wurden in Friedenszeiten über den Hafen Poti ausgeführt. Deutschland allein bezog im Jahre 1913 hiervon 447000 t. Weitere Manganerzvorkommen befinden sich in Britisch-Indien und Brasilien. Aus ersterem Lande wurden 1913 insgesamt 178000 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 oder Magnesia in Form von Verbindungen enthalten. Auch der zum Verschmelzen der Erze notwendige Brennstoff (Koks) enthält stets gewisse, der Rohkohle entstammende Mineralien, die nach der Verbrennung als Asche zurückbleiben. Ein Teil aller dieser mineralischen Beimengungen wird zwar bei den Darstellungsverfahren im Hochofen oder in den anderen in Betracht kommenden Schmelzöfen vom Eisen aufgelöst, der bei weitem größere Teil bildet aber eine Schlacke. Diese muß, vornehmlich beim Hochofenprozeß, in den flüssigen Zustand übergeführt, also geschmolzen werden, denn 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 dann nicht so leicht vollziehen. In vielen Fällen ist nun aber die Bildung einer flüssigen Schlacke aus den Gangarten nicht ohne weiteres möglich, weil der Schmelzpunkt ihres Gemisches oberhalb der im Ofen herrschenden Temperaturen liegt. So haben z. B. die meisten Erze zu kieselensäure- 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 einen „Zuschlag gibt“, ihm also einen Stoff zusetzt, der eine Schmelzpunktserniedrigung des schlackebildenden Gemenges bewirkt. Für kieselensäure- und tonerdereiche (saure) Erze sind Kalk und notfalls auch Dolomit (Kalkmagnesiakarbonat) die geeignetsten Zuschläge, weil sie als „basische“ Stoffe den Schmelzpunkt der sauren Beimengungen stark herabdrücken. Vom Kalk gibt man den Erzen meist mehr, als zur Erreichung des niedrigsten Schmelzpunkts der Schlacke erforderlich ist, weil das Mineral 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 Minetterevier 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 (selbstgehende Erze). Die aus Kieselsäure, Tonerde, Kalk, Magnesia und sonstigen Stoffen (z. B. Manganoxyden) zusammengesetzte Schlacke ist im flüssigen Zustande als homogene Lösung verschiedener chemischer Verbindungen ineinander, besonders von Kalk- und Tonerdesilikaten, aufzufassen.

Vorbereitung der eisenhaltigen Rohstoffe für die Verhüttung.

Bei vielen Erzen, z. B. gewissen Silber-, Blei-, Zink- und Kupfererzen mit zu geringem Metallgehalt oder sonst ungeeigneter Zusammensetzung für die Verhüttung ist eine dieser vorausgehende Vorbereitung zur Anreicherung des Metallgehalts und Entfernung schädlicher Bestandteile mit mehr oder weniger großer Wirtschaftlichkeit durchführbar. Für Eisenerze gilt dies nur in den wenigsten Fällen, weil der Wert des Eisens im Vergleich zu den oben genannten Metallen sehr gering ist. Allerdings werden sich auch hier die Verhältnisse ändern, besonders in Deutschland, wo gegenwärtig nur noch geringe Mengen hochwertiger Eisenerze, dafür aber sehr viel arme Erze vorhanden sind. Die Vorbereitung der Eisenerze kann auf mechanischem oder chemischem Wege erfolgen; in ersterem Falle spricht man von Aufbereitung, wobei man zwischen nasser und elektromagnetischer Aufbereitung unterscheidet, je nachdem die Trennung des Eisenerzes von den Gangarten oder sonstigen Mineralien auf Grund ihres verschiedenen spezifischen Gewichtes mit Hilfe eines auf- und niedergehenden und zugleich fließenden Wasserstromes oder auf Grund der verschiedenen Magnetisierbarkeit des Eisens und der übrigen Mineralien durch einen Elektromagneten bewirkt wird. Die nasse Aufbereitung wendet man z. B. im Ilseer Erzbezirk an, wo das in Trommelsieben von den Erzstücken abgetrennte Feinerz von dem beigemengten Ton auf Sechsmaschinen getrennt wird. Die magnetische Aufbereitung erstreckt sich hauptsächlich auf schwedischen Magneteisenstein, dessen Eisengehalt dadurch von etwa 38 auf 67% angereichert wird.

In manchen Fällen sind die zu verhüttenden Eisenerze teils schon

von Natur aus, theils infolge ihrer Beförderung und Umladung, oft auch nach der nassen oder elektromagnetischen Aufbereitung so feinkörnig, daß sie den Hochofengang sehr ungünstig beeinflussen, besonders in größerer Menge (zu mehr als 12% der Beschickung). Sie rollen dann nämlich leicht durch die Zwischenräume zwischen den größeren Stücken hindurch und werden auf diese Weise zu frühzeitig geschmolzen. Infolgedessen wirken sie wie ein Bindemittel auf die groben Stücke, indem sie mit ihnen eine zusammenhängende Masse bilden, die im Hochofen nicht nachrücken kann und dadurch das sog. Hängenbleiben der Gichten verursacht. Ferner erschweren sie durch die Verengung der Zwischenräume zwischen den Stückerzen den Durchgang des Windes. Außerdem werden sie von den mit großer Geschwindigkeit den Hochofen durcheilenden Gasen mitgerissen und aus dem Ofen als sog. Gichtstaub entführt, der auf umständliche Weise wieder aus den Gasen entfernt werden muß, weil er sie für gewisse Zwecke geradezu unbrauchbar macht. Aus allen diesen Gründen müssen die Feinerze, sobald sie einen zu großen Anteil an der Hochofenbeschickung haben, in Stückform übergeführt werden. Hierzu gibt es zweierlei verschiedene Wege: das Brikettieren 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 unter 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 Erzbriketts muß man ähnlich wie die Ziegelsteine 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 kleinen Klumpen zusammen. Auch der aus den Hochofengasen abgeschiedene Gichtstaub wird oft mit Erfolg brikettiert und agglomeriert. Die Erze und Gichtstaubbriketts müssen neben großer Festigkeit, die ihr Zerdrücken oder Zerreiben im Hochofen verhindert, auch eine gewisse Porosität haben, damit die Re-

duktionsgase im Hochofen leicht in ihr Inneres eindringen können. Ferner dürfen sie nicht Bindemittel enthalten, die den Hochofenprozeß ungünstig beeinflussen.

Eine chemische Vorbereitung vor der Verhüttung erfahren u. a. die Siegerländer Spateisensteine zu einem größeren Teile. Diese aus kohlen-saurem Eisen (Eisenkarbonat FeCO_3) bestehenden Erze werden nämlich in unmittelbarer Nähe der Erzgrube in einfachen Schachtöfen geröstet, d. h. bei Luftzutritt erhitzt, wobei die Kohlen-säure, gleichzeitig auch Wasser und etwas Schwefel entweichen und ein Eisen-oxid (Rostspat) zurückbleibt. Von dieser Arbeit wird der Hochofen also entlastet und dadurch in seinem Gange günstig beeinflusst. Auch erhalten die Gichtgase dann einen höheren Heizwert, weil sie ärmer an Kohlen-säure und Wasser sind als bei Verhüttung ungerösteten Erzes. Da das Gewicht des Erzes durch die Rö-stung um etwa 30% vermindert wird, sind schließlich auch die Beförderungskosten des Erzes, auf den Eisen-gehalt bezogen, sehr viel geringer.

Die Darstellung des technisch verwerteten Eisens.

VIII. Allgemeines über die Darstellung.

Die Rohstoffe für die Darstellung aller technisch verwerteten Eisen-sorten sind, wie aus dem letzten Abschnitt hervorgeht, chemische Ver-bindungen des Eisens, und zwar vorwiegend Sauerstoffverbindungen (Oxyde). Die erste Hauptaufgabe der Eisenhüttenwerke ist also, das Eisenmetall aus diesen Sauerstoffverbindungen zu befreien. Die Über-führung einer Metall-sauerstoffverbindung in das Metall oder in eine sauerstoffärmere Verbindung des Metalls heißt Reduktion. Das erste metallurgische Verfahren zur Darstellung des technisch verwerteten Eisens muß demnach 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 ver-hältnismäßig niedrigen Temperaturen vom Sauerstoff befreit werden, z. B. diejenigen des Goldes, Silbers und Quecksilbers. Für andere

Metalloxyde — 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 Wärme-graden sehr groß ist und eine Zerlegung erst bei übermäßig hohen Temperaturen (mehreren tausend Grad) stattfinden würde, 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, also Stoffen, die unter gleichen Verhältnissen ein größeres Vereinerigungsbestreben zum Sauerstoff haben wie das betreffende Metall selbst, daher den Sauerstoff der Oxyde an sich reißen und das betreffende Metall zurücklassen. Derartige Reduktionsmittel gibt es eine ganze Reihe; von ihnen kommen aber für die im Hochofen erfolgende Reduktion des Eisens nur der Kohlenstoff (C) in Form von Koks und das aus ihm gebildete Kohlenoxydgas (CO) in Betracht, weil beide sehr kräftig wirken, verhältnismäßig billig gewonnen werden können und mit dem Erzsauerstoff keine Schlacken, sondern Gase bilden, die den technisch und wirtschaftlich so vollkommenen Hochofenprozeß überhaupt erst ermöglichen. Im Hochofen reduziert der Kohlenstoff aus den verwendeten Rohstoffen nicht nur das Eisen, sondern auch andere Elemente, wie Silizium, Phosphor, Mangan usw., in bestimmten Mengen, die von der Zusammensetzung der Beschickung und der Durchführung des Hochofenbetriebs abhängig sind. Diese Elemente sowie Schwefel und auch Kohlenstoff selbst lösen sich im reduzierten Eisen auf, so daß das entstehende End-erzeugnis ein „Roheisen“ mit zusammen 4–10% verschiedenen Legierungsbestandteilen ist.

Von den genannten Bestandteilen sind nach dem IV. Abschnitt einige durchaus notwendig, um dem Eisen bestimmte Eigenschaften zu geben, allerdings meist nicht in so großer Menge wie sie im Roheisen enthalten sind, während andere wieder wie Phosphor und Schwefel höchst unerwünschte Begleiter des Eisens sind. Der zweite metallurgische Hauptvorgang im Eisenhüttenwesen besteht also darin, alle diese Elemente zu einem mehr oder weniger großen Teil wieder daraus zu entfernen. Dies geschieht vorwiegend durch Oxydation, die dadurch herbeigeführt wird, 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 Drydationsmittel mit den Legirungsbestandteilen zu Gasen oder Schlacken, so daß neben diesen ein Eisen mit geringen Mengen an Fremdstoffen, also ein schmiedbares Eisen, als Enderzeugnis erhalten wird. Die gegenwärtig gebräuchlichen Verfahren zur Entfernung eines Teils der Legirungsbestandteile aus dem Roheisen, also zur Umwandlung von Roheisen in schmiedbares Eisen, die sog. Frischverfahren, sind in der Hauptsache das Thomas-, Bessemer- und 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 Schweißeisen in halbgeschmolzenem Zustande und durch das Glühfrischen den sog. schmiedbaren Guß oder Temperguß im festen Zustande. Zur Erzeugung sehr hochwertigen Flußeisens dienen in Ergänzung der genannten Frischverfahren das Ziegelstahl- und das Elektrostuhlverfahren, die man ebenso wie das Martinverfahren oft noch dazu benutzt, das flüssige Eisen zur Erzielung bestimmter Eigenschaften mit Elementen wie Chrom, Wolfram, Molybdän zu legieren.

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 das schmiedbare Eisen gegenwärtig auf keine einfachere Art, also z. B. unmittelbar aus dem Erz ohne die Zwischenstufe des Roheisens mit einem in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht gleich günstigen Ergebnis darstellen.

IX. Die Darstellung des Roheisens.

Die Darstellung des Roheisens erfolgt in einem Hochofen (vgl. die Beschreibung auf S. 79). Der Hochofenprozeß hat im wesentlichen folgenden Verlauf: Eisenerze und Zuschläge werden abwechselnd mit einem Brennstoff (Koks, Holzkohle) oben in den Hochofen (Abb. 4) 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) sammelt sich im untersten Teile des Ofens und wird in gewissen Zeitabständen daraus abgezogen (abgestochen), während die gleichzeitig niedergeschmolzene Schlacke, die wegen ihres geringeren spezifischen Gewichts auf dem flüssigen Eisen schwimmt, durch eine etwas höher gelegene Öffnung in ununterbrochenem Strom abfließt, sobald sie diese Öffnung erreicht hat. Die in großer Menge entstehenden 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 Abschnitten beschrieben worden, so daß hier zunächst noch die Vorbereitung der Luft zu erwähnen ist.

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, besonders die Verbrennung des Koks 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 nur in physikalischer nicht in chemischer Hinsicht auf den Hochofenprozeß ein. Ähnliches gilt vom Einfluß des Wasserdampfs im Hochofen, der aber wegen der sehr verschiedenen Mengen, in denen er in der Luft enthalten sein kann, Unregelmäßigkeiten im Ofengang herbeiführen kann.

Während die Luft, die z. B. den Verbrennungsvorgang 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 der Luftmenge, die den über 20 m hohen, mit Stoffen dicht gefüllten Hochofen durchziehen soll und hierbei naturgemäß großen Widerstand findet, noch durch Pressung nachgeholfen werden. Diese Arbeit leisten 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 Gange auf der einen Seite durch die Ventile Luft in den Zylinder saugt, gleichzeitig die beim vorhergehenden Hube auf der anderen Seite eingesogene Luft zusammenpreßt und sie 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. Der Winddruck steigt bei deutschen Hochofen selten über 0,4 at. Die Windmenge, die ein neuzeitlicher großer Hochofen täglich verbraucht, ist außerordentlich groß. Man kann auf 1 t erzeugten Roheisens durchschnittlich rund 3000 cbm Wind rechnen, so daß also ein großer Hochofen mit 500 t Tageserzeugung in 24 Stunden 1 500 000 cbm Luft mit einem Gewicht von 1950 t verbrauchen würde, also dem Vierfachen des zur gleichen Zeit erzeugten Roheisens.

Die Vorbereitung der Luft für den Hochofenprozeß beruht nun in erster Linie auf einer Vorwärmung. Nur vereinzelt hat man neuerdings auch Vorkehrungen zur Trocknung der Luft getroffen, aber keine günstigen Erfolge damit gehabt. 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. Der fast auf allen Eisenhüttenwerken als Winderhitzer benutzte Comper-Apparat, den die Abb. 2 und 3 im senkrechten und wagerechten Schnitt darstellen, 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 Ver-

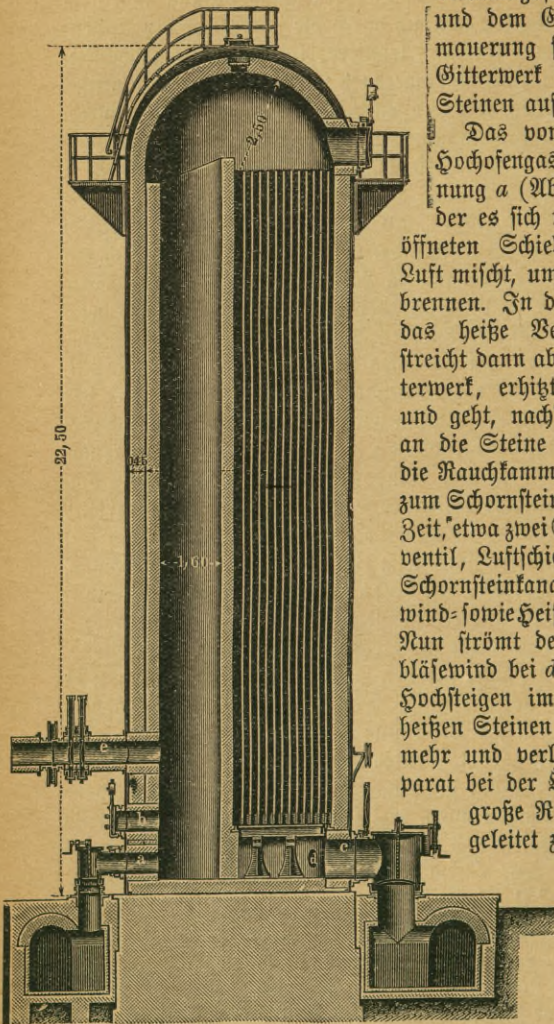


Abb 2. Cowper-Blowpipe. (Senkrechter Schnitt.)

brennungsschacht, 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. 2) 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, streicht dann abwärts durch das Gitterwerk, 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 Klappe zum Schornsteinkanal geschlossen und Kaltwind- sowie Heißwind-schieber geöffnet. Nun strömt der gepreßte kalte Gebläsewind bei *d* ein, erhitzt sich beim Hochsteigen im Gitterwerk an den 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 hat für gewöhnlich mindestens drei, öfter sogar vier oder mehr Winderhitzer; 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 Aushilfe dient. Neuerdings hat man auch mit Erfolg versucht, durch Einpressen des Windes in die Cowper die Winderhitzung derart zu beschleunigen, daß man mit einer geringeren Zahl von Erhitzern auskommt (Pfofer-Strack-Stumm-Verfahren).

Der Hochofen. Der wegen seines schachtähnlichen Profils zur Gattung der Schachtöfen gehörige Hochofen zeichnet sich, wie sein Name schon andeutet, gegenüber anderen metallurgischen Öfen durch seine große Höhe aus, die bis zu 30 m und darüber ohne das zugehörige Eisengerüst mit den Begichtungseinrichtungen trägt. Während die meisten Metallhochöfen das Profil eines mathematischen Zylinders aufweisen, haben die Eisenhochöfen für gewöhnlich das in Abb. 4 veranschaulichte Profil. Man ersieht daraus, daß der eigentliche Hochofen aus drei Teilen besteht, dem Schacht *a*, der Kasten *b* und dem Gestell *c*. Schacht und Kasten bilden zwei abgestumpfte Kegeln, die mit ihren größten Grundflächen aufeinander gesetzt sind; das sich unten anschließende Gestell ist ein Zylinder. Der den oberen Abschluß des Hochofens bildende Teil heißt Gicht, die Ebene, in der Schacht und Kasten zusammenstoßen, Kohlenack. Der Kohlenack ist bei vielen Hochöfen zu einem dem Gestell ähnlichen Zylinder ausgebildet. Der unterste Teil des Ofens, auf dem das Gestell steht, wird Bodenstein (*d*) genannt. Der Schacht ruht meist auf einem Tragkranz, der von eisernen Säulen gestützt wird, während die Kasten für gewöhnlich am Tragkranz hängt. Auf diese Weise sind Kasten 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 für die Windformen (*e*). Diese bestehen aus kegelförmigen, doppelwandigen Hülfsen 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.

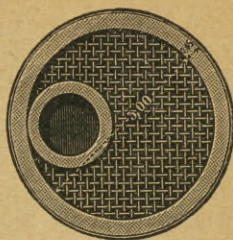


Abb. 3. Cowper-Winderhitzer.
(Wagerechter Schnitt.)

Von hier aus wird er mittels des sog. Düfenstocks (*i*), der in den einzelnen Düfen endigt, auf die Formen gleichmäßig verteilt und tritt dann durch sie 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 gutflüssigen Schlacke zu schützen, stets mit der sog. Lürmannschen Schlackenform ausgestattet, einer den Windformen ähnlichen, mit Wasser gekühlten kupfernen Hülse. 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 ihn 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, ferner Raft und Gestell, wo teilweise sehr hohe Temperaturen herrschen, müssen dagegen 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, die 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, der die Gase zwingt durch ein senkrecht in der Mitte des Verschlusses stehendes Rohr oder durch seitlich in den obersten Teilen des Schachtmauerwerks angebrachte Rohre abzu ziehen. Da auf der Gicht die Beschickung in den Ofen gegeben wird, sind die Gichtverschlüsse gleichzeitig als Aufgabe- und Verteilungsvorrichtungen für die Rohstoffe einzurichten, welche die Gase auch dann nicht an die Außenluft entweichen lassen dürfen, wenn die Rohstoffe gerade in den Ofen eingebracht werden. Daher sind die Gichtverschlüsse stets als Schleusen ausgebaut, deren oberen Verschluß gegen

Hochofen

die Außenluft und deren unterer gegen das Ofeninnere abdichtet. Wenn der eine Verschluß zur Einführung der Rohstoffe geöffnet ist, muß der andere gleichzeitig geschlossen sein. Es gibt zahlreiche verschiedene Ausführungen von doppelten Gichtverschlüssen. Bei dem in Abb. 4 dargestellten Hochofen, der mit einer selbsttätigen Kübelbegichtung versehen ist, besteht der Gichtverschluß aus einem kreisförmigen Trichter, gegen den von unten durch Gewichte mit Hilfe einer Hebelübertragung ein kegelförmiger Verschluß gedrückt wird. Setzt sich der Kübel nun auf die Gicht, so senkt sich der lose Kübelboden, so daß die im Kübel befindlichen Rohstoffe den Kegel herunterdrücken und in den Ofen hinabgleiten. Nennens-

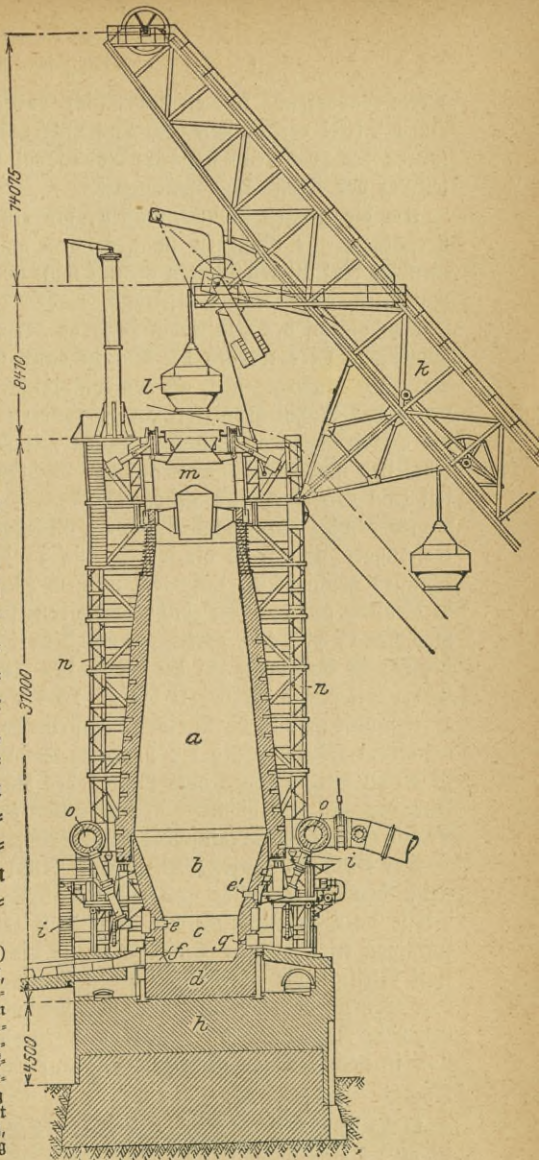


Abb. 4.
Hochofen. (Senträchter Schnitt.)

a Schacht, b Rast, o Gestell, d Bodenstein, e Windtritt (Düsen und Form), e' Notwindform (nur bei Betriebsstörungen in Verwendung), f Stichoß (Robeisenabstoß), g Schlackenform (Schlackenausfluß), h Fundamentmauerwerk i Düsenstod, k Gichtaufzug (Schrägaufzug), l Förderkübel mit Beschädigung, m Gichtverschluß, n Hochofengerüst, o Windleitung (Windkranz).

werte Gasverluste können dabei nicht entstehen, weil der Kibel durch einen Deckel verschlossen ist. Das unterhalb des Gichtverschlusses inmitten des Hochofens sichtbare Rohr sorgt für eine gleichmäßige Verteilung der Stoffe im Ofeninnern.

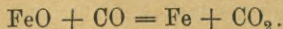
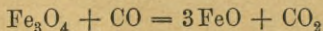
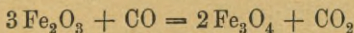
Um die großen Rohstoffmassen, die ein neuzeitlicher Ofen täglich verschluckt, zur Gicht zu schaffen, sind mächtige Förderanlagen notwendig. Auf älteren Werken benutzt man noch senkrechte, durch Dampfmaschinen angetriebene Aufzüge, welche die Beschickung in kleinen Wagen bis zu der Plattform in Höhe der Gicht, der Gichtbühne, emporziehen. Hier werden die Wagen dann von einzelnen Leuten vom Aufzug heruntergezogen, an den Gichttrichter gefahren und durch Rippen ihres Inhalts entleert. Bei neueren Anlagen werden sie oft als Hängewagen an Schrägaufzügen mit Hilfe 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 die gesamte Bedienung auf der Gichtbühne ersparen, so macht man, wie bei dem Hochofen in Abb. 4¹⁾, vorteilhaft von der erwähnten selbsttätigen Kibelbegichtung Gebrauch, bei der die in der Abbildung sichtbaren großen Kibel mit einem Erzinhalt bis zu 15 t und darüber unten auf der Hüttensohle gefüllt, durch eine untenstehende elektrische Fördermaschine an einem Schrägaufzug bis über den Gichttrichter gehoben und dann in diesen durch Rippen oder Öffnen des Kibelbodens entleert werden. Für die ganze Bedienung des gefüllten Kibels ist nur ein einziger Mann an der Fördermaschine erforderlich.

Der Hochofenprozeß. Beim Hochofenprozeß können wir einen absteigenden Strom fester und einen aufsteigenden Strom gasförmiger Stoffe im Ofen unterscheiden. An dem ersteren sind die Erze und sonstigen eisenhaltigen Rohstoffe, ferner die Zuschläge und der Brennstoff beteiligt, die sämtlich durch den Gichtverschluß mit Hilfe der oben betriebenen Fördervorrichtungen dem Hochofen zugeführt werden. Das Erz nebst Zuschlägen, der Mäller, wird abwechselnd mit dem Brennstoff in den Hochofen gegeben. Die auf einmal in den Ofen gefüllte

1) In Abb. 4 ist nur der obere Teil des Schrägaufzugs mit den daran hängenden Kibelu zu sehen.

Menge an Erz und Zuschlägen nennt man eine Erzgicht, während die darauf folgende Brennstoffmenge, sofern es sich um Koks handelt, eine Koks-gicht genannt wird. Bei großen Öfen beträgt eine Erz-gicht bis zu 15 000 kg, eine Koks-gicht bis zu 7000 kg. Das Mengen-verhältnis zwischen Erz, Zuschlag und Koks wird an 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 Kaste die indirekte Reduktion durch Kohlenoxydgas und dann in den heißesten Teilen des Ofens, nämlich der unteren Kaste 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 (Ferrioxyd, Fe_2O_3) zuerst in das sauerstoffärmere Oxyduloxydul (Ferriferrooxydul, Fe_3O_4), dieses in Oxydul (Ferrooxydul, 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 Riesab-

brände, 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, Buddel- und Schweißschlacken so gut wie gar nicht.

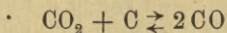
Soweit diese Rohstoffe nicht durch die indirekte Reduktion in metallisches Eisen übergeführt werden können, muß die direkte Reduktion durch Kohlenstoff diese Aufgabe in der unteren Rast und im Gestell übernehmen. Hierbei wird weit mehr Brennstoff verbraucht, so daß man darauf bedacht sein muß, die indirekte Reduktion nach Möglichkeit zu fördern. Im Gegensatz zu der letzteren bildet sich bei der direkten Reduktion in der unteren Rast und im Gestell nicht Kohlen- säure, 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 Kohlen- säure aus den ungerösteten Spateisensteinen sowie den Kalksteinen und Dolomiten vor sich. Auch die Kohlung 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 Abschnitt hervorgeht, der Schmelzpunkt des Metalls so weit heruntergedrückt, daß es bei Temperaturen zwischen 1100 und 1200°, also in der unteren Rast 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 in- folge ihres geringeren spezifischen Gewichts über dem Eisen. Zwischen den Bestandteilen der beiden flüssigen Stoffe finden übrigens auch noch die verschiedensten Reaktionen statt.

Den im Hochofen abwärts sinkenden festen Stoffen steigen von unten her die Gase entgegen, die auf folgende Weise entstehen. Die in den Winderhizern 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. sein Kohlenstoff verbindet sich mit dem Sauerstoff der Luft unter Entwicklung großer Wärmemengen und hoher Temperaturen zu Kohlenoxyd (CO). Eine

vollständige Verbrennung zu der höheren Oxydationsstufe Kohlenoxyd oder Kohlenäure (CO_2) kann nicht stattfinden, weil Kohlenäure in Gegenwart von Kohlenstoff 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 Kohlenäure stattfinden, sondern nur eine direkte durch Kohlenstoff unter Bildung von Kohlenoxyd (s. die letzte Reduktionsgleichung). Das hochoverhitzte Kohlenoxydgas, das 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 betr. Reduktionsgleichungen oben), so daß der Gasstrom, je höher er steigt, sich desto mehr an Kohlenäure anreichert. Diese Kohlenäure wird noch vermehrt durch diejenige, welche aus den Karbonaten, also den ungerösteten Spateisensteinen, den Kalken und Dolomiten, austritt. Die Anreicherung des aufsteigenden Gasstromes an Kohlenäure ist übrigens nicht allein eine Folge der Reduktionsvorgänge und der Zersetzung der kohlenäuren 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 Kohlenäure und festen Kohlenstoff, je geringer die Temperatur ist. Der auf diese Weise entstandene Kohlenstoff lagert sich in feiner 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 Kohlenäure- und Abnahme des Koh-

lenoxydgehalts 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 Kohlenensäure 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 Kohlenensäure reduziert werden, sondern die Kohlenensäure 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 im Ofen ganz ausnützen zu müssen, und stellte zu diesem Zweck, die kostspieligsten Versuche an (z. B. Erhöhung der Ofen). 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.

Erheblich schwerer als das Eisen werden Mangan, Phosphor, Silizium u. dgl. 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 Kohlenstoff reduziert ist, also erst bei den hohen Temperaturen im unteren Teil der Raft und im Gestell. Vom Mangan lassen sich nur dreiviertel des Gehalts in den Erzen reduzieren, vom Silizium je nach der Zusammensetzung des Möllers und der aufgegebenen Kohlenmenge meist nur verhältnismäßig sehr geringe Mengen, der Phosphor dagegen fast vollständig. Der so gefährliche Schwefel wird zum Teil an den Kalk und das Mangan der Schlacke gebunden, immerhin lösen sich im Eisen noch verhältnismäßig große Mengen des Schwefels auf, die erst in den folgenden metallurgischen Verfahren verringert werden können. Kupfer geht ganz ins Eisen, Blei sammelt sich wegen seines größeren spezifischen Gewichts und seiner Unlöslichkeit im Eisen unter ihm 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 Ofengang keine störenden Unregelmäßigkeiten aufweist, die wegen

der langen Durchsetzzeit¹⁾ der Beschickung oft erst an dem veränderten Aussehen der Schlacke spät nach ihrer Entstehung bemerkbar und dann nicht so schnell zu beseitigen sind. Betriebsstörungen können durch verschiedene Ursachen hervorgerufen werden. Zu schwere Erzsätze (zu viel Erz im Verhältnis zu Zuschlag und Koks), falsche Møllerung, zu schnelles oder ungleichmäßiges Aufgeben der Gichten, Durchbruch von Kühlwasser, schlechte Beschaffenheit des Brennstoffs oder Erzes (Feinerz 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, und 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 Koks 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. Außer dem Rohgang können noch sonstige Vorgänge, wie Durchbruch des Eisens durch das Gestell, Explosionen im Ofeninnern u. dgl., 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 ihre Höhe erreicht hat; dann wird es abgestochen, d. h. man öffnet mit großen eisernen Stangen das unten im Gestell befindliche Abstichloch, das durch eine feuerfeste Masse verschlossen war, bis das Roheisen im glühenden Strome aus dem Hochofen herausrinnt. 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 vielverzweigte, in Sand gepreßte flache Vertiefungen, die sog. Masselbetten, laufen, in denen es zu Barren von gleichen Abmessungen, den Masseln, erstarrt.

Roheisendarstellung im elektrischen Hochofen. Die Darstellung des Roheisens im elektrischen Hochofen ist in größerem Maßstabe mit wirtschaftlichem Erfolge nur in solchen eisenerreichen Gegenden durch-

1) Unter Durchsetzzeit versteht man die für die Beschickung notwendige Zeit zur Reise durch den Hochofen, sie schwankt zwischen 9 und 30 Stunden, im Durchschnitt beträgt sie 22 Stunden.

zuföhren, in denen 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 Vervollkommnung vielleicht auch sonst zur Darstellung von Sonderroheisensorten halten können, von denen eine besonders große Reinheit verlangt wird. Bisher hat man in Schweden (Domnarfvet, am Trollhättan und in Odöa) mit elektrischen Hochofen recht günstige Betriebsergebnisse erzielt.

Während beim Kokshochofen die zur Reduktion und Schmelzung nötige Wärmemenge durch chemische Umsetzung (Verbrennung) entsteht, wird sie beim elektrischen Hochofen durch die auf S. 111 erwähnte elektrische Lichtbogenheizung erzeugt. Bei der elektrischen Roheisendarstellung fällt daher der Koks zur Wärmerzeugung fort, also etwa $\frac{2}{3}$ der gesamten im Kokshochofen erforderlichen Koks menge, während der Rest von $\frac{1}{3}$ noch zur Reduktion notwendig ist. Durch den hier fortfallenden Verbrennungsvorgang kann man die sonst in großem Umfange erforderliche Luftzufuhr ersparen, so daß die kostspieligen Gebläse und Winderhitzungsanlagen überflüssig werden.

Die Erzeugnisse des Hochofens 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., während man für den Bessemerprozeß ein hochsiliziertes, sehr phosphorarmes, für das Thomasverfahren ein sehr phosphorreiches, für den Martinprozeß meist ein manganreiches Roheisen gebraucht. Jedem Erze oder jeder Mischung (Gattierung) von Erzen entspricht 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—1,8
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—0,09
Buddelroh 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 weiteres 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 großen Schlackenhalben sich allein im Laufe eines Jahres auf einem Hochofenwerk ansammeln müssen. Gerade aber in den Industriebezirken ist der Grund und Boden besonders wertvoll und unter Umständen schon anderweitig in Anspruch genommen. 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 und kippt sie, nachdem sie darin erstarrt ist, 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 oder einen Luftstrom, wobei sie in einen feinkörnigen Sand zerfällt. Die in den eisernen Töpfen in Form von Klözen erstarrte Schlacke (Kloßschlacke) kann, nachdem sie durch Zer-

kleinerungsmaschinen in beliebig große Stücke gebrochen ist, sehr gut als Schotter 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 Schüttgut für Fußwege und Eisenbahndämme verwenden, ferner als Bergeverfaß d. h. zum Füllen der Hohlräume, die nach der bergmännischen Gewinnung von Mineralien in der Erdrinde zurückbleiben¹⁾, 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 Dryde: Kalk (CaO), Kieselsäure (SiO_2) und Tonerde (Al_2O_3) teil. Portlandzement²⁾ wird dadurch hergestellt, daß man aus Kalk und Hochofenschlacke im geeigneten Mischungsverhältnis Klinker erbrannt, die dann feingemahlen werden. Die Hochofenzemente bestehen hauptsächlich aus gemahlener, rasch gekühlter 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. 64 kennen gelernt haben, wird zu den verschiedensten Zwecken verwendet. Früher ließ man es achtlos in die Luft entweichen und vergeudete dadurch ungeheure Werte. Wenn die Gichtgase auch verhältnismäßig arm an brennbaren Bestandteilen sind und daher nur einen geringen Heizwert haben (durchschnittlich 800 W. E. je cbm), so muß man doch die außerordentlich großen Gasmengen in Betracht ziehen, die täglich von einem Hochofen geliefert werden. Auf 1 t Roheisen kommen im Durchschnitt etwa 4500 cbm

1) Vgl. Wedding, Bergbau, Bd. 467 dieser Sammlung.

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

Gichtgas, also erzeugt ein einziger großer Hochofen von 400 t Tagesleistung in 24 Stunden allein schon 1 800 000 cbm mit der gewaltigen Wärmemenge von 1440 Millionen W.E.

Die Gichtgase werden zu Heiz- und motorischen Zwecken verwendet, und zwar vornehmlich zur Heizung von Winderhizern, ferner auch von Trocken-, Koks-, Kof-, Brennösen u. a., sodann zur Dampferzeugung und endlich unmittelbar zum Antrieb von Gasmaschinen, die vorwiegend die Hochofengebläse und Dynamomaschinen bewegen.

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 g je cbm 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 ihren Heizwert erniedrigt, die Gasleitungen und Heizkanäle der zu erhitzenden Anlagen usw. verstopft, so daß öfter kostspielige Reinigungen erforderlich werden, 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 Brikettierung oder Agglomeration wieder im Hochofen verschmolzen zu werden. Eine noch weitergehende Staubentfernung erzielt man auf nassem Wege, indem man das trocken vorgereinigte Gas in Gaswäscher leitet, hohe Behälter, die innen mit Holzhornden ausgelegt sind und in denen dem hochsteigenden Gase fein verteiltes Wasser in großen Mengen entgegenrieselt. Da auch hierdurch die Staubentfernung in den meisten Fällen noch nicht gründlich genug erfolgt, unterzieht man die Gase, besonders wenn sie für motorische Zwecke verwendet werden sollen, noch einer Feinreinigung. Man leitet sie dazu im allgemeinen in Zentrifugalreiniger oder Ventilatoren (Bauart Theisen u. a.), in denen der Staub nach Beschwerung mit fein verspritztem Wasser durch die Fliehkraft aus dem Gas entfernt wird. Die Staubmenge kann auf diese Weise auf 0,025—0,001 g je cbm 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 Holzwolle, 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 im allgemeinen nach Abzug von 5% für Leitungsverluste u. dgl. für die Winderhitzer 35 bis 40%, für den übrigen Hochofenbetrieb, also zum Antrieb aller dazu gehörigen Maschinen u. dgl. etwa 25—30%, so daß noch 25—40% für Zwecke außerhalb des Hochofenwerks übrigbleiben.

X. Die Darstellung des schmiedbaren Eisens.

1. 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 Durchblasens von Luft in Flußeisen zu verwandeln und zwar ohne das Schmelzgut von außen zu erhitzen.

Die Bessemerbirne. Das Bessemerverfahren wird noch heute in einer Vorrichtung durchgeführt, wie sie der Erfinder selbst in ganz ähnlicher Ausführung, nur in viel kleineren Abmessungen, nach mehrjährigen Versuchen entworfen hat. Man nennt diese wegen ihrer birnenähnlichen Gestalt Bessemerbirne oder auch mit der englischen Bezeichnung Konverter. Eine solche Birne stellen die Abb. 5 und 6 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 eingreift. Durch Auf- und Abwärtsbewegen der Zahnstange läßt sich die Birne kippen und in verschiedene Stellungen bringen. Der andere Tragzapfen, welcher der Zuführung der in besonderen Gebläsen erzeugten Preßluft (des Windes) dient, ist hohl und durch ein Rohr einerseits mit den Gebläsen, anderer-

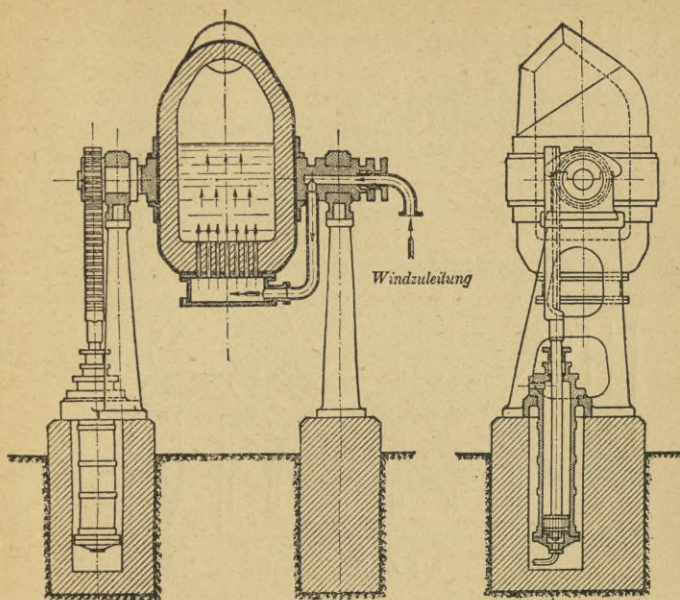


Abb. 5.
Bessemerbirne. (Senträchter Schnitt.)

Abb. 6.
Bessemerbirne. (Seitenansicht.)

seits mit dem unter dem Boden der Birne befindlichen Windkasten 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 Seitenwänden und daher öfter ersetzt werden muß, zum Auswechseln eingerichtet. Der obere sich verengende Teil der Birne wird Hals genannt, der in der Abb. 6 rechts befindliche Teil heißt Rücken.

Der Roheisenmischer. Beim Bessemerprozeß verwendet man flüssiges Roheisen, das je nach Art der ganzen Durchführung des Betriebes und des gewünschten Enderzeugnisses verschieden zusammengesetzt ist. In Deutschland verwendet man z. B. meist ein Bessemerroheisen mit 1,5—2 % Silizium, ebensoviel Mangan, nicht mehr als 0,1 % Phosphor und 0,05 % Schwefel, kann aber auch mit dem Si- und Mn-Gehalt noch weiter heruntergehen wie in Amerika, wo das Bessemerver-

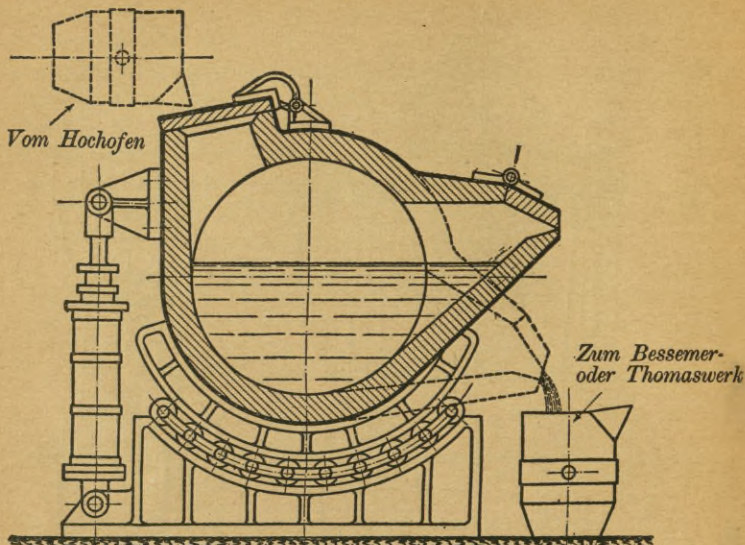


Abb. 7. Roheisenmischer.

fahren in viel größerem Umfange zur Massenerzeugung von Stahl verwendet wird wie bei uns. Das zu frischende Roheisen wird nicht unmittelbar vom Hochofen in die Birne übergeführt, sondern, falls der Hochofen in der Nähe des Bessemerstahlwerkes liegt, in einem großen kippbaren und meist heizbaren Gefäß, dem Roheisenmischer (Abb. 7), gesammelt, der mehrere Ofenabstiche in sich aufnehmen kann. Dadurch bleibt man nicht nur mit dem Stahlwerksbetriebe unabhängig vom Hochofenbetriebe, sondern erzielt auch noch die Vorteile einer guten Durchmischung der einzelnen Roheisenabstiche sowie einer weitgehenden Entschwefelung. Ist der Hochofen so weit vom Stahlwerk entfernt, daß das Roheisen auf seinem Wege dorthin zu stark abkühlen würde, muß es, nachdem es erstarrt ist, in einem Schachtofen, dem Stahlwerks-Kuppelofen, der einem Gießerei-Kuppelofen (s. S. 121) gleicht, wieder eingeschmolzen werden. Auch zwischen Kuppelofen und Birne schaltet man meist noch einen Mischer ein. 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 Hiße (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, natürlich nur in solcher Menge, daß es weder durch die Winddüsen in den Windkasten bringt, 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 Blasen beginnt: Der Wind durchbringt in zahlreichen Strahlen das flüssige Eisen und fängt sofort an, seine oxydierende Wirkung auszuüben, indem er zunächst einen Teil des Siliziums und Mangans, dann des Kohlenstoffs in die entsprechenden Sauerstoffverbindungen überführt, die sich entweder als Schlacken auf dem Bade sammeln oder als Gase entweichen. Bei der Vereinigung dieser Elemente mit dem Luftsaurestoff entwickeln sich ähnlich wie bei der Verbrennung des in den gewöhnlichen Brennstoffen enthaltenen Kohlenstoffs (vgl. S. 57) große 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, von dem auch ein Teil oxydiert wird, spielen also beim Bessemerverfahren die Rolle von Brennstoffen, so daß sich die Erhitzung des Bades durch gewöhnliche Brennstoffe wie Kohle, Gas oder dgl. erübrigt. Ohne diese Temperaturerhöhung wäre das Verfahren überhaupt nicht auszuführen, denn durch die kalten Windstrahlen und die Außenluft wird das Eisenbad immer mehr abgekühlt. Umgekehrt muß aber die Heiztemperatur gleichzeitig mit der Abnahme des Gehalts an Fremdstoffen, vor allem an Kohlenstoff, während des Verfahrens immer noch zunehmen, um das Bad flüssig zu erhalten, denn der Schmelzpunkt des Eisens steigt ja mit abnehmendem Gehalt an Fremdstoffen sehr erheblich.

Je mehr Kohlenstoff oxydiert, desto stärker wird das Getöse, mit dem das entstehende Kohlenoxydgas aus dem Birnenhalse heraustritt und desto heller die Flammgarbe, die an ihrem Ende in einen vorwiegend aus Oxyden des Mangans bestehenden braunen Rauch eingehüllt ist. Die Oxydation im Innern der Birne geht so heftig vor sich, daß sich aus dem kochenden Eisenbade ein wahrer Sprühregen von Schlackenteilchen und glitzernden Sternchen verbrennenden Eisens

über die Umgebung ergießt, ein wundervoller Anblick besonders zur Nachtzeit. Allmählich verstärkt sich der braune Rauch an der Spitze, während die Flamme kürzer und durchsichtiger wird, bis sie sich schließlich ganz in die Birne zurückzieht. Der Oxydationsvorgang ist damit beendet. Die Birne wird jetzt wieder gekippt und der Wind abgestellt.

Man hat nun ein fast kohlenstofffreies Flußeisen erhalten, doch damit ist nichts anzufangen. Bei dem Verfahren ist nämlich, wie schon erwähnt, neben den im Eisen enthaltenen Fremdstoffen auch eine gewisse Menge des Eisenmetalls selbst oxydiert worden, und zwar zu Eisenoxydul (FeO), das sich in dem Flußeisen auflöst und ihm die unangenehme Eigenschaft des Rotbruchs erteilt (vgl. S. 45). Man muß daher 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 einen Stoff zusetzt, der ein größeres Vereinigungsbestreben zum Sauerstoff hat wie das Eisen selbst, diesen also an sich reißt. Ein solcher Stoff ist das in den Legierungen Ferromangan und Spiegeleisen enthaltene Mangan, das sich nach der Gleichung $\text{FeO} + \text{Mn} = \text{MnO} + \text{Fe}$ mit dem Sauerstoff des Eisens verbindet. Das entstandene MnO ist schwer im Flußeisen löslich und steigt, da es spezifisch leichter ist als dieses, darin hoch, um dann in die Schlacke überzugehen.

Spiegeleisen und Ferromangan enthalten neben dem hohen Mangan Gehalt auch noch viel Kohlenstoff. Sie erfüllen daher gleichzeitig die wichtige Aufgabe, dem nahezu kohlenstofffreien Eisenbad wieder den 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 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. 89) 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 durch weniger Spiegeleisen mit schwefelarmem Koks oder Graphit die Kohlung vornehmen, während der Stahl in die Pfanne entleert wird (Darbyverfahren, Düdelingerverfahren).

Man könnte zur Erzeugung von Stahl das Rückkohlen auch um-

gehen, indem man mit dem Blasen einfach aufhört, sobald der Kohlenstoffgehalt bis auf die gewünschte Menge herunter oxydiert worden ist. Ein geübter Fachmann kann den betr. Zeitpunkt an der Farbe und Form der Flamme, besonders mit Hilfe eines Spektroskops, und an Hand der Ergebnisse von Schlacken- und Schöpfproben erkennen, allerdings weit schwieriger als den, in dem nahezu der ganze Kohlenstoff verbrannt ist. Aus diesem Grunde 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 meist doch nicht ganz zu umgehen ist.

Das Thomasverfahren.

Die großen Erwartungen, die man auf den Bessemerprozeß gesetzt hatte, erfüllten sich anfangs nicht. Vor allen Dingen hatte das Verfahren den großen Nachteil, daß es nicht die Entfernung des Phosphors aus dem Eisen zuließ. Da aber der größte Teil aller im alten Deutschen Reiche verhütteten Erze phosphorhaltig war und daher phosphorreiche Roheisensorten lieferte, so konnte der Bessemerprozeß bei uns nur vereinzelt 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 nämlich die durch Einwirkung des Luft-sauerstoffs aus dem Phosphor des Eisens gebildete Phosphorsäure zu binden und das Element auf diese Weise dem Eisen zu entziehen. Eine basische Schlacke löst aber noch andere Säuren, also auch Kieselsäure in sich auf. Ein aus Kieselsäure bestehendes Futter, wie es die Bessemerbirnen haben, würde daher binnen kurzem von einer basischen Schlacke aufgezehrt sein, wobei die Schlacke selbst ihren basischen Charakter verlöre. 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 Wider-

standsfähigkeit gegen die physikalischen und chemischen nachteiligen Einflüsse des hochohitzten flüssigen Eisenbades. Über zwanzig Jahre gingen erst nach Erfindung des Bessemerprozesses ins Land, bis die Engländer Thomas und Gilchrist im Jahre 1878 als Zuschlag Kalk und als basisches Futter Dolomit vorschlugen, 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 und dann entweder unter hohem Druck zu Steinen gepreßt, mit denen die Wandungen der Birnen ausgemauert werden, oder unmittelbar von Hand auf die Wandungen aufgestampft. Der Boden wird mit Hilfe besonderer Maschinen stets gestampft.

Das Thomasverfahren zeigt kleine Abweichungen vom Bessemerverfahren. Vor Einfüllen des Roheisens werden etwa 12—18 % des Eiseneinsatzes an gebranntem Kalk in die Birne geworfen, und zwar, wie schon erwähnt, zur Bindung der entstehenden Phosphorsäure. 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 Bruchansetzen der abgekühlten geschmiedeten Probe und schon beim Biegen und Aufhauen erkennt man leicht, ob der Phosphor entfernt ist. Ist dies nicht der Fall, so muß nach nochmaligem Aufrichten der Birne weiter geblasen werden. Ist der Phosphor vollständig in die Schlacke übergegangen, so gießt man diese vom Eisen ab und nimmt erst dann die Desoxydations- und Kohlungsarbeiten vor. Ohne vorherige Entfernung der Schlacke würde der Phosphor durch den Kohlenstoffgehalt der genannten Legierungen reduziert werden und wieder in das Eisenbad gelangen.

Die durch Verbrennen des Phosphors im Bade hervorgerufene Temperatursteigerung ist übrigens weit größer als diejenige, welche die Mangan- und Kohlenstoffoxydation bewirkt. Dies ist von großem Vorteil für eine erfolgreiche Durchführung des Verfahrens, nicht nur weil das Flußeisen gerade zuletzt nach Entfernung des größten Teils 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 Bessemer- dem Thomasverfahren im allgemeinen unterlegen, weil bei ersterem die größte Temperatursteigerung (durch Verbrennen des Siliziums) umgekehrt zu Beginn statt gegen Ende des Verfahrens stattfindet. Die Wirkung läßt sich allerdings durch geeignete Zusammensetzung des Roheisens und geschickte Betriebsführung etwas abschwächen. Das Thomasroheisen muß also nach dem oben Gesagten schon zur Erzeugung der erforderlichen Temperaturen im Bade stets einen hohen Phosphorgehalt haben (S. 89). 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 20—30 Minuten in einer Birne Mengen bis zu 30 000 kg Roheisen in schmiedbares Eisen umwandeln. Daher sind der Bessemer- 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, Lashes u. dgl., und für den Bau von Eisenbauwerken jeglicher Art, wie Träger, Winkelleisen, Bleche usw., werden hauptsächlich aus Birnenflußeisen hergestellt. In den meisten Ländern, mit Ausnahme Nordamerikas und Englands wird der Bessemerprozeß wegen der Unmöglichkeit, durch ihn phosphorhaltiges Roheisen zu verarbeiten, nur vereinzelt angewendet, jedenfalls zur Massendarstellung von Flußeisen; dagegen spielt der Thomasprozeß hier eine desto größere Rolle. Das meiste durch das Thomasverfahren erblasene schmiedbare Eisen ist ein weiches bis mittelhartes, gut schweiß- und schmiedbares Flußeisen mit Kohlenstoffgehalten bis zu 0,5%. Zur Darstellung solcher Flußeisensorten ist das Thomas- dem Bessemerverfahren überlegen. Zu diesem und den weiter oben genannten, sich auf die metallurgische Durchführung beziehenden 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, das Wachstum einer Reihe von Nutzpflanzen fördernden Phosphorsäuregehalts ein vorzügliches Düngemittel sind. Der Phosphorsäuregehalt der Thomasschlacke 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 Oxyde, besonders aber das wertvolle Manganoxydul, aus der Thomasschlacke zum größten Teile fernzuhalten, ist eine wichtige Aufgabe des Eisenhüttenwesens. Da den Pflanzen nicht der ganze Phosphorsäuregehalt des Thomasmehls zugute kommt, sondern nur der in Zitronensäure lösliche, so wird der Wert des Düngemittels lediglich hierdurch 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 Rippen 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 Gießformen oder Kokillen (französisch *coquille*) fließen läßt, gußeiserne hohe Kästen von quadratischem Querschnitt, die sowohl unten als oben offen sind. Zur Füllung der Kokillen gibt es zwei Gießverfahren, den unmittelbaren Guß, bei dem das geschmolzene Flußeisen aus der Pfanne von oben in die auf gußeisernen Platten stehenden Kokillen hineinfließt, und den steigenden (kommunizierenden) Guß, bei dem das Flußeisen aus der Pfanne zuerst in einen in der Mitte einer ganzen Anzahl von Kokillen auf einer gemeinsamen Gußplatte aus feuerfesten Steinen stehenden und mit jeder einzelnen Kokille durch je einen Kanal in der feuerfesten Steinplatte verbundenen Eingußtrichter fließt, um dann durch die einzelnen Kanäle von unten her in die Kokillen zu gelangen und in diesen hochzusteigen. 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, da ein Füllen zahlreicher kleiner Kokillen von oben her viel zu zeitraubend sein würde. 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 Gewichte bis zu 5000 kg und darüber haben. Ist das Flußeisen zu Blöcken erstarrt, so werden die Kokillen davon mit Hilfe eines sog. Stripperkrans nach oben hin abgezogen. Sollen die glühenden Blöcke anschließend weiterverarbeitet werden, so befördert man sie mit großen an elektrisch betriebenen Kranen hängenden Zangen in die Tieföfen des Walz-, Preß- oder Hammerwerks.

2. Das Siemens-Martin-Verfahren (Herdfrischen).

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, ließen die Hüttenleute von diesem Bestreben nicht ab, ja sie wurden sogar darin bestärkt, besonders weil die zahlreichen Stahlabfälle und Ausschußstücke des Bessemerverfahrens sowie die ständig zunehmenden Mengen an Alteisen (Schrott) auf diese Weise wieder durch Einschmelzen verwertet werden konnten. 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 dieser 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 Flußeisenabfällen zu erzeugen. Aus diesem Verfahren, das ursprünglich in der Hauptsache als ein Einschmelzverfahren zur Schrottwertung gedacht war, haben sich dann im Laufe der Zeit mehrere selbständige Frischverfahren entwickelt. Die sehr hohen Temperaturen bei der Siemensfeuerung werden dadurch erreicht, daß man Gas, und zwar gegenwärtig noch vorwiegend Generatorgas (S. 64), verwendet, das man ebenso wie die zu seiner Verbrennung notwendige Luft in sog. Wärmespeichern (Regeneratoren) vorwärmt und dann in Form

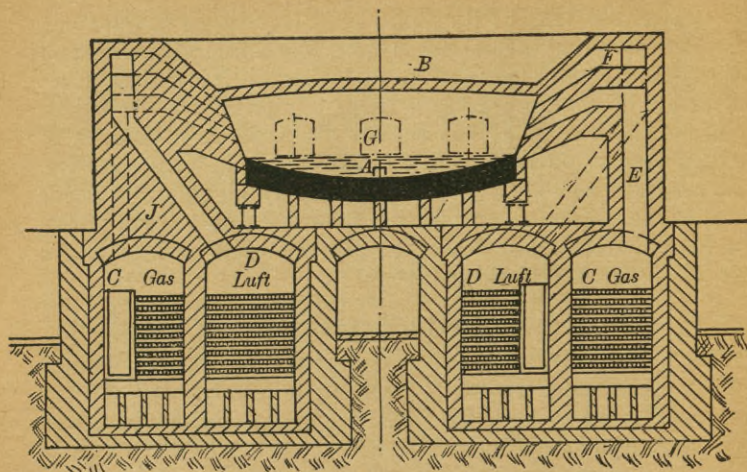


Abb. 8. Siemens-Martin-Ofen. (Senkrechter Längsschnitt.)

einer das Schmelzgut bestreichenden Stichflamme im Schmelzraume (Herd) selbst verbrennen läßt, und zwar mit möglichst geringem Überschuß an vorgewärmter Luft.

Der Siemens-Martin-Ofen. Das Herdfrischverfahren 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 A mit dem Deckengewölbe B und den seitlich davon angeordneten Brennköpfen, den zwei Paar Wärmespeichern C und D für Gas und Luft, den Umsteuerventilen hierfür und dem Ramin. Der muldenförmige Herd 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 Borderwand mit drei verschließbaren Öffnungen, von denen hauptsächlich die mittelste G zum Einsetzen der Rohstoffe dient, durch die Rückwand mit dem Stichloch H zum Ab-

stechen des fertigen Flußeisens und an seinen Stirnseiten durch die Brennköpfe mit den Kanälen (Zügen) *E* und *F* für die Zuführung von Gas und Luft bzw. die Fortleitung der verbrannten Heizgase. Die Wände in ihren oberen Teilen, das Deckengewölbe und die Brennköpfe, die sämtlich aus Silikatziegeln 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

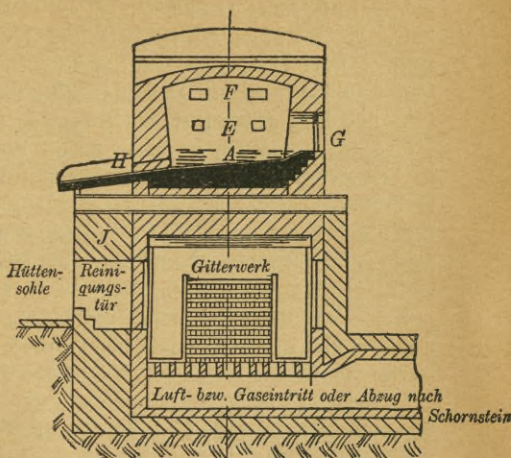


Abb. 9. Siemens-Martin-Ofen. (Senkrechter Querschnitt.)

unter ihm liegenden Wärmespeichern verbunden. Diese bilden mit einem Gitterwerk feuerfester Steine ausgefüllte Kammern, von denen die beiden größeren *D* zur Vorwärmung der Luft, die beiden kleineren *C* zur Vorwärmung des Gases dienen. Die Wärmespeicher sind durch unterirdische Kanäle mit den Umsteuerventilen für Luft und Gas verbunden. Ebenso verbinden Kanäle die Umsteuerventile mit dem Kamin.

Der Weg des Gases und der Luft vor, bei und nach dem Verbrennungsvorgange ist folgender (Abb. 8). Das Gas strömt zunächst durch das Gasventil in den in der Abbildung links gelegenen hoch erhitzten Wärmespeicher *C*, die Luft durch das Luftventil in den daneben liegenden, ebenfalls hochehitzten Wärmespeicher *D*. 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. 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 *C* und *D*, heizen diese und gehen schließlich zur Esse. Nach einer gewissen Zeit sind die rechts gelegenen Wärmespeicher stark erhitzt, die links gelegenen dagegen durch das frische 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 Abgase durch die Züge der Brennköpfe in die linken Kammern, an die sie die Hauptmenge ihres Wärmeinhalts abgeben, und entweichen dann durch die Esse. Das Umsteuern wird je nach Bedarf vorgenommen, meist in Zeitabständen von 20–30 Minuten. Bei Benutzung von Koksogas zur Heizung ist kein Vorwärmen nötig, weil sich mit diesem Gas infolge seines großen Heizwertes (S. 64) ohnedies genügend hohe Temperaturen erzielen lassen.

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. 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 Schrottrohisenverfahren (kurz Schrottverfahren) und das Roheisenerzverfahren sind.

Das **Schrottrohisenverfahren** 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 oder Abfällen der Eisendarstellung und -verarbeitung. 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 dagegen nicht herauszubringen, dürfen also 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 Verfahrens. 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 es dabei in starkes Wallen. Dies ist von großer Wichtigkeit für das Gelingen des Verfahrens, 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 meisten 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, wodurch der Wärmebedarf erhöht und die Chargendauer verlängert wird. Mangan wirkt günstig, denn es hat die sehr willkommene Eigenschaft, einen großen Teil des durch Verbrennung gebildeten Eisenoxyds wieder zu reduzieren sowie den größten Teil des Schwefels zu binden und als Mangansulfid in die Schlacke zu gehen. 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 Schrottrohisenprozeß die günstigsten Betriebsergebnisse.

Vor Beginn einer jeden Charge, die bei größeren Einsätzen 6—8 Stunden erfordert, wird der Ofen an den schadhaften 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 die Handbeschickung 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 meist in Form von elektrisch angetriebenen hängenden Kra-

nen 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 Einsastüren in den Herd, kippen ihren Inhalt darüber 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 Rohstoffe erfordert etwa 3—4 Stunden. Bald beginnt dann das durch das aufsteigende Kohlenoxyd hervorgerufene Kochen des Bades, das nach einer halben Stunde seinen Höhepunkt erreicht und nach einer weiteren halben Stunde beendigt ist. 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 Ferromangan 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 Einsastoffe 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 Desoxydation und Kohlung verwendet man wie beim Windfrischen für weiche kohlenstoffarme Flußeisensorten hochprozentiges Ferromangan 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.

Das Roheisenerzverfahren. Bei diesem Martinverfahren setzt man flüssiges Roheisen in den Ofen ein und frischt nicht nur durch den sauerstoffreichen Gasstrom, sondern gleichzeitig durch oxydische Eisenerze, deren Anteil etwa 18—25 % des Roheiseneinsatzes beträgt. Dadurch, daß der Erzsauerstoff sich mit dem Kohlenstoff des Roheisens zu Kohlenoxyd verbindet, wird das Eisen aus dem Erz reduziert und vereinigt sich mit dem Metall des Roheisens. Infolgedessen erhält man keinen Abbrand wie beim Windfrischen, sondern eine größere

Ausbeute an Flußeisen als Roheisen eingeseht war. 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 geseht 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 das Kochen. 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.

Unter bestimmten Verhältnissen, z. B., wenn mit steigendem Phosphorgehalt des Roheisens die Schwierigkeit wächst, ein phosphorarmes Enderzeugnis zu gewinnen, weil ein Teil des Phosphors leicht wieder aus der Schlacke reduziert wird und dann in den Stahl übergeht, führt man das Verfahren in zwei getrennten Abschnitten durch. So werden beispielsweise in einem feststehenden basischen Martinofen durch Vorfrischen hauptsächlich Silizium, Mangan und Phosphor sowie ein kleiner Teil des Kohlenstoffs entfernt. Die sehr wertvolle phosphorreiche Schlacke wird dann nach Bertrand-Thiel vom Stahl dadurch getrennt, daß man das Metall in einen zweiten tieferstehenden Martinofen ohne Schlacke abfließen läßt oder mittels Pfanne ohne Schlacke in einen danebenstehenden Ofen überführt, oder daß man es nach dem Hoeschverfahren nebst Schlacke in eine Pfanne absticht und 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 das Vorfrischen in großen, mit Regenerativgasfeuerung versehenen Mischern mit einem Fassungsvermögen bis zu 350 t vorgenommen. Dabei wird 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. Dieses geht in einem großen kippbaren Martinofen mit einem Fassungsvermögen von 100 bis 300 t vor sich, aus dessen Herd immer nur ein

Teil des erzeugten Flußeisens durch Rippen abgegossen wird, während man den Rest durch neuen Zusatz von Roheisen unter vorherigem Einbringen von Erzen und Kalk weiterfrischt. Die Desoxydation durch Ferromangan 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. Hierher gehören der Wittkowiger 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 Surzycki-Verfahren, bei dem das Talbotverfahren in feststehendem Ofen dadurch zur Ausführung kam, daß der Ofeninhalt durch mehrere übereinanderliegende Abstichöffnungen immer nur teilweise abgestochen wurde.

Erzeugnisse. Durch die verschiedenen Martinverfahren werden vorwiegend weiche bis mittelharte Flußeisensorten dargestellt für Handelseisen aller Art, z. B. Draht, Feinbleche, Kesselbleche, Schiffsbleche, Träger, Eisenbahnschwellen, Laschen, 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.

3. Das Ziegelstahlverfahren.

Die Tiegel, in denen der Stahl bei diesem Verfahren dargestellt wird, sind durch einen Deckel verschließbare Gefäße von kreisförmigem Horizontalquerschnitt mit einem Fassungsvermögen von 10—40 kg Eisen und darüber. Da die Tiegel nicht nur den hohen Temperaturen, sondern auch den chemischen Einwirkungen des geschmolzenen Flußeisens Rechnung tragen müssen, bestehen sie aus feuerfesten Stoffen, und zwar aus Gemischen von Ton, Schamotte oder alten gemahlenern Tiegelscherben mit Holzkohle, Koks, Graphit u. dgl. Das Ziegelmaterial wird, nachdem es gut durchgemischt und geknetet ist, durch Pressung in die Ziegelform gebracht. Nach sehr sorgfamer Trocknung, die viele Wochen beansprucht und in besonderen heizbaren Kammern vor sich geht, werden die Tiegel gleich mit den eingefetzten Schmelzstoffen geglüht und dann sofort mit großen Zangen in den Schmelzöfen gebracht. Die

Schmelzöfen haben verschiedene Bauart. Für größere Betriebe sind meist dem Siemens-Martin-Ofen ähnliche mit Wärmespeichern und Gasfeuerung ausgerüstete Öfen in Anwendung, auf deren wagerechtem Herd die Tiegel meist bis zu 40—100 Stück stehen.

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. Herdfrischstahl, Zementstahl und Puddestahl (vgl. den I. Abschnitt) waren früher die bevorzugten Rohstoffe zur Tiegelstahlerzeugung, jetzt werden auch reiner Bessemer- und Martinstahl u. dgl. in Tiegeln umgeschmolzen. Zur Erzeugung bestimmter hervorragender Sonderstahlorten fügt man in vielen Fällen dem Einsatz im Tiegel Elemente wie Nickel, Chrom, Wolfram, Molybdän und Vanadin zu. Die meist genau abgewogenen Einsatzstoffe sind für gewöhnlich in etwa 2—3 Stunden geschmolzen. Da der Einsatz stets einen geringen Sauerstoffgehalt hat, sei es durch seinen Schlackengehalt (Schweiß-eisen), sei es durch anhaftenden Rost und Glühspan, so bildet sich zunächst eine eisenoxydreiche Schlacke. Diese oxydiert einen Teil des Kohlenstoffs zu Kohlenoxyd, das den Stahl in schwaches Aufwallen bringt (Kochperiode). Den oxydierten Kohlenstoff ersetzt sich der Stahl aber bald wieder aus den Tiegelwandungen, und zwar in desto stärkerem Maße, je kohlenstoffreicher diese sind. Auch Mangan 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 besonders die Kosten für die reinen Rohstoffe und die Herstellung der Tiegel hoch sind und der Brennstoffbedarf groß ist. Dafür ist der Tiegelstahl bei sorgsamem Auswahl der verwerteten Rohstoffe und guter Durchführung des Ver-

fahrens neben dem Elektro Stahl das edelste eisenhüttenmännische Erzeugnis, 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 deswegen auch vornehmlich solche Gegenstände hergestellt, von denen man besonders gute Eigenschaften verlangt, wie hervorragende Werkzeugstähle (Schnelldrehstähle), hochbeanspruchte Konstruktionssteile, Gewehrläufe, Geschützrohre u. a.

4. Das Elektro Stahlverfahren.

Die Elektrizität wird seit einigen Jahrzehnten in immer ausgehnterem Maße zur Gewinnung von Metallen verwertet, und zwar nutzt man hierbei entweder ihre chemischen oder ihre thermischen (Wärme-) Wirkungen aus. Auf elektrochemischem Wege, durch Elektrolyse¹⁾, gewinnt man z. B. das Aluminium aus Tonerde (Al_2O_3), die in künstlichem Kryolith aufgelöst ist, ferner Natrium aus geschmolzenem Natriumhydroxid ($NaOH$), Kalium, Kalzium, Magnesium aus Verbindungen, die sich in anderen Stoffen in Lösung befinden, Zinn aus Weißblechabfällen, sehr reines Kupfer aus Rohkupfer, Feinsilber aus güldischem (goldhaltigem) Silber, reines Gold aus platinhaltigem Gold usw. Auch für die Gewinnung von Eisen kann das elektrolytische Verfahren in Frage kommen. Gegenwärtig wird Elektrolyteisen aber infolge der sich entgegenstellenden Schwierigkeiten technischer und wirtschaftlicher Art nur in sehr geringem Umfange für wenige Sonderzwecke dargestellt.

Dagegen hat man seit einer Reihe von Jahren den elektrischen Strom als Wärmequelle zur Eisen- und Stahlherstellung mit immer größerem Erfolge zu verwenden gelernt. Chemische Wirkungen auf das Eisen werden hierbei also nicht durch den Strom ausgeübt, sondern lediglich durch Luft oder sonstige oxydierende bzw. reduzierende Stoffe ähnlich wie bei den übrigen Darstellungsverfahren. Theoretisch ist es natürlich möglich, den elektrischen Strom statt der gewöhnlichen Brennstoffe als Heizmittel für sämtliche im vorhergehenden beschriebenen Verfahren zur Darstellung technisch verwerteten Eisens, also auch zur Roheisendarstellung und zur Umwandlung von Roheisen in schmiedbares Eisen durch Frischen zu verwenden, praktisch

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

stehen aber einer so weitgehenden Anwendungsmöglichkeit der Elektrizität als Heizmittel in den meisten Fällen die hohen Stromkosten entgegen, so daß die elektrischen Öfen nur in den auf S. 88 erwähnten Ausnahmefällen als Ersatz für die Schmelzvorrichtungen der oben genannten Verfahren in Frage kommen. Sonst sind die Elektroöfen aber von großer Bedeutung zur Darstellung hochwertiger Edelfeststahls aus gewöhnlichen Stahlsorten oder zur Ergänzung der übrigen Schmelzeinrichtungen in der Weise, daß man ihnen nur die Schlußbehandlung des Stahls überläßt, also die Desoxydation, Entschwefelung, Rohlung, 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.) Flußeisen, z. B. Martin Stahl zu beschicken und diesen in dem Ofen bei hohen Temperaturen nur ausgaren und abstehen zu lassen. Die elektrische Heizung hat gegenüber derjenigen mit gewöhnlichen Brennstoffen verschiedene Vorzüge. So kann man z. B. durch den Strom besonders hohe Temperaturen erzeugen, die für einzelne Reaktionen in der Schmelze von großem Vorteil sind, ferner lassen sich im elektrischen Ofen die Temperaturen viel leichter regeln und damit den jeweiligen metallurgischen Vorgängen besser anpassen als in jedem anderen Ofen, schließlich können alle ungünstigen Einflüsse der Außenluft und Brenngase auf das Bad im Elektroofen ausgeschaltet werden.

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 Lichtbogenöfen unterscheiden sich in der Hauptsache in der Art und Anordnung der Elektroden. Bei dem ältesten Elektrostahlöfen, und zwar dem von Staffano, bildeten sich die Lichtbögen zwischen drei derart über dem Bade angeordneten Kohlenelektroden, daß der Strom nicht durch das Metall ging. Bei den jetzt gebräuchlichen Lichtbogenöfen, z. B. denjenigen von Héroult, Girod, Keller, Mathusius u. a. sind die Elektroden dagegen stets so angelegt, daß der Strom durch das Bad läuft. Einen Héroultöfen zeigt Abb. 10 im Längsschnitt. Dieser ist einem kippbaren Martinöfen vergleichbar, bei dem

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

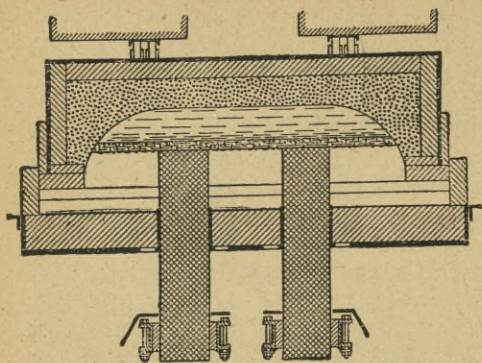


Abb. 10. Héroultöfen. (Senkrechter Querschnitt.)

die Wärmezufuhr statt durch verbrennende Gase durch elektrische Lichtbögen von oben her erfolgt. Der Schmelzherd 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 ausgestampft. Die Stromzufuhr erfolgt bei Wechselstrom durch zwei, bei Drehstrom durch drei einzeln verstellbare, vorteilhaft mit Selbstregelungsvorrichtung versehene Kohlen- oder Graphitelektroden, die durch das Deckengewölbe von oben her in den Schmelzraum hineinragen. 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 Verfahrens unbedingt notwendig, weil der flüssige Stahl ohne sie den durch den elektrischen Strom aus den Elektroden herausgeschleuderten Kohlenstoff begierig in sich annehmen würde. Das fertige Erzeugnis wird durch Rippen 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 Gruppen von Elektroden vorhanden sind, von denen die einen aus Kohlenstoff bestehen und von oben her durch das Deckengewölbe hindurch in den Herd hineinhängen, während die anderen aus weichem, schwer schmelzbarem Flußeisen gebildet sind und von unten her durch den Boden in das flüssige Metall ragen. Die flußeisernen Bodenelektroden müssen, um vor zu schneller Zerstörung be-

wahrt zu bleiben, durch Wasser gekühlt werden.

Keller verwendet bei seinem Ofen als Bodenelektroden Eisenstäbe mit zwischen-gestampfter feuer-fester Masse, Rathusius Stahlelektroden mit übergestampfter leitender Masse.

Die zweite Art der bisher im praktischen Betriebe erprobten elektrischen Heizung, die Induktionsheizung, ist aus dem Bestreben hervorgegangen, die Kohlenelektroden zu vermeiden. Die Induktionsöfen 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 gewissermaßen 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, Frick u. a. benutzt.

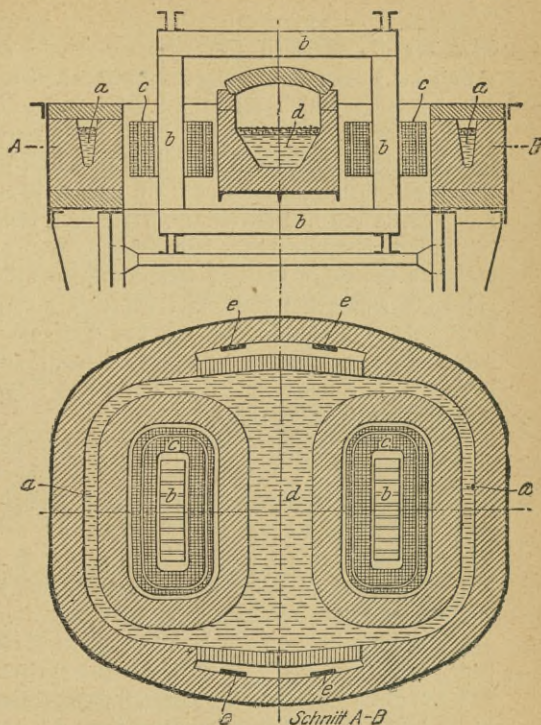


Abb. 11. Röchling-Rodenhauser-Ofen.
(Senkrechter und wagerechter Schnitt.)

1) Vgl. das bereits erwähnte Bändchen von Roth (MNG Bd. 391).

Einen Röchling-Rodenhauser-Ofen gibt die Abb. 11 wieder. Hierin ist *b* der als Rahmen (Transformatorjoch) ausgebildete Eisenkern; *c* sind die zweimal vorhandenen Primärspulen an den beiden Schenkeln des Jochs und *a* die beiden Schmelzrinnen, die in der Mitte zusammenkommen und dort einen breiten, für metallurgische Arbeiten besonders geeigneten Herd *d* bilden. Außer dem sekundären Induktionsstrom im Schmelzgut wird noch ein zweiter sekundärer Strom gebildet, und zwar in den aus starken Kupferbändern bestehenden, den primären Stromkreis einschließenden Wicklungen. Dieser Strom wird den Polplatten *e* zugeführt, die aus weichem Eisen bestehen und in die Herdwandung eingebettet sind. Bei hohen Temperaturen wird die sonst nicht leitende Herdwandung vor 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 Elektrostaahlverfahren 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 Tiegelstaahlverfahren. 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 hochwertiges 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 Gnderzeugnis wiederfinden. In den Elektrostaahlöfen dagegen läßt sich aus bei weitem unreinerem Ausgangsmaterial ein Erzeugnis herstellen, das dem edelsten Tiegelstaahl mindestens gleichwertig ist. Dies ist gerade für Deutschland wichtig, das arm an reinen Erzen ist und daher auch nur mit Schwierigkeiten hinreichend reine Rohstoffe für das Tiegelstaahlverfahren gewinnen kann.

Der Elektrostaahl wird seiner hervorragenden Eigenschaften wegen besonders zur Herstellung von Werkzeugstählen, für Flugzeug- und Automobilteile, hochbeanspruchten Staahlformguß usw. verwendet. Große Bedeutung hatte er während des Krieges auch für Infanterieschutzschilde, Schützenblenden, Staahlhelme u. dgl.

XI. 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 sie noch eingehender Bearbeitung. Die Formgebungsarbeiten als solche fallen zwar im allgemeinen nicht in das Gebiet der eigentlichen Metallurgie, also auch nicht des Eisenhüttenwesens im engeren Sinne, sie gehören vielmehr in den Rahmen der mechanischen Technologie. Einige von ihnen wie z. B. das Schmieden, Pressen, Walzen und Gießen vereinigen aber in sich mit der Formgebung eine mechanische, thermische oder mechanisch-thermische Behandlung, die nach den Ausführungen im vierten Abschnitt einen so weitgehenden Einfluß auf die Eigenschaften des Eisens hat, daß diese Verfahren hier wenigstens kurz gestreift werden müssen. Durch das Schmieden, Pressen und Walzen kann man nur das schmiedbare Eisen, durch das Gießen dagegen sowohl Flußeisen als auch Roheisen (Gußeisen) in die gewünschten Gebrauchsformen bringen.

1. Schmieden, Pressen, Walzen.

Schmieden. Das Schmieden ist das älteste Verfahren zur Formgebung des Eisens. Es beruht einfach auf Zusammendrücken des auf dem Amboss liegenden glühenden Eisenstückes durch Hammerschläge. Außer dem mit der Hand geschwungenen Hammer, der nur in ganz kleinen Betrieben verwendet wird, bedient sich die Schmiedetechnik der verschiedensten Arten mechanisch angetriebener Fall-, Feder-, Dampf- und sonstiger Hämmer, deren Bärgegewichte, Fall- bzw. Hubhöhen und Schlagzahlen je nach ihrer Bestimmung erhebliche Abweichungen voneinander aufweisen. So baute man früher Dampfhammer mit Bärgegewichten bis zu 150 000 kg. Aber selbst mit solch riesigen Kolossen, die mit ihren Schlägen in der Nachbarschaft starke Erschütterungen hervorrufen, ließ sich nicht immer die gewünschte Wirkung erzielen, besonders bei sehr großen Stücken, denn das zu bearbeitende Material gebraucht eine gewisse Zeit, um der Druckwirkung bis ins Innere hinein nachzugeben. Ein Hammerschlag ist aber von kurzer Dauer und so wirkt er bei sehr großen Arbeitsstücken mehr auf ihre zur Oberfläche hin liegenden Teile als auf ihren inneren Kern. Infolgedessen bleiben

116 XI. Die Formgebung u. die mechan. u. therm. Behandlung des Eisens nicht nur die inneren Teile des Stücks unverbessert sondern es erhält auch durch die ungleichmäßige Einwirkung leicht gefährliche Spannungen, die später zum Bruch führen können. Zur Bearbeitung sehr großer Gegenstände verwendet man daher vorteilhafter Pressen.

Pressen. Die Pressen wirken im Gegensatz zu den Hämmern mit ihren kurzen wuchtigen Schlägen durch langsamen und ruhigen, aber starken Druck, der bis in den innersten Kern des Schmiedestücks eindringt und daher eine sehr gleichmäßige Verdichtung erzielt. Außerdem kann man mit einem einzigen Druck der Presse die Wirkung mehrerer Schläge des Dampfhammers ersetzen und daher Zeit- und Arbeitsverluste ersparen. Die Pressen vermeiden auch die schädlichen und die Umgebung belästigenden Erschütterungen der Hämmer und brauchen daher nicht so starke Grundmauerwerke wie diese zu erhalten. Man unterscheidet Pressen mit unmittelbarem Antrieb wie Hebel-, Spindel- und Schwungradpressen und solche mit mittelbarem Antrieb, wie ihn die rein hydraulischen oder dampfhydraulischen Bauarten haben, zu denen auch die eigentlichen Schmiedepressen zählen. Diese hat man schon für einen Druck bis zu 14 000 000 kg und darüber ausgeführt.

Walzen. In vielen Fällen erfolgt die Formgebung schmiedbaren Eisens am günstigsten durch Walzen. Hierdurch stellt man z. B. sog. Halbzeug her, wie große Blöcke mit quadratischem und Brammen mit rechteckigem Querschnitt, Knüppel (Stäbe von mittelgroßem Querschnitt) und Platinen (Flachstäbe), ferner Fertigerzeugnisse, und zwar Stabeisen wie Quadrat-, Flach-, Band-, Rundeisen, dann Schwellen und die verschiedenartigsten Schienen für alle Eisenbahnen (auch Straßen- und Grubenbahnen), Profileisen und Träger für Bauwerke aller Art, Draht bis herab zu 4 mm Durchmesser, die verschiedensten 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 Eisenbahnscheiben und -radreifen (Bandagen) u. a. m.

Beim Walzvorgang wird das zu bearbeitende Stück meist in zwei wagerecht liegende, sich entgegengesetzt drehende zylindrische Körper (Walzen) eingeführt, infolge der Reibung von diesen erfaßt und durch sie hindurchgezwängt. Dabei wird das Stück zusammengedrückt und unter Querschnittsverminderung gestreckt (Abb. 12). Die Walzen liegen mit ihren Laufzapfen in kräftigen eisernen Gestellen, den sog. Walzenständern (Abb. 17), von denen mindestens je zwei ein Walzgerüst bilden. Ein oder mehrere zusammengehörige Walzgerüste, in

denen ein bestimmtes Erzeugnis hergestellt wird, nennt man Walzenstraße. Eine Walzanlage in ihrer Gesamtheit heißt Walzwerk.

Die Walzen haben folgende Hauptbestandteile: den Bund oder Ballen *a*, die Laufzapfen *b* und die Kupplungszapfen *c* (Abb. 13). Der Ballen einer Walze ist entweder wie in Abb. 13 ein glatter Zylinder oder enthält wie bei den beiden Walzen

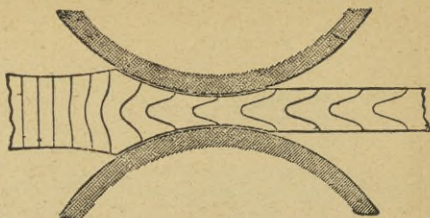


Abb. 12. Streckung des Walzguts.

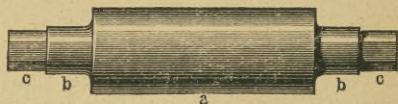


Abb. 13. Glatte Walze.

in Abb. 14 ringsum laufende Furchen. Die durch die Furchenbegrenzungen zwischen den beiden Walzen gebildeten Hohlräume heißen *Kaliber*. Mit den glatten Walzen werden plattenförmige Körper (Bleche) hergestellt, mit den Kaliberwalzen Körper mit bestimmten Profilen (Schienen, Träger u. dgl.). Eine allen Anforderungen der neuzeitlichen Walztechnik gerecht werdende Kalibrierung ist eine schwierige, nur auf Grund verwickelter mathematischer Berechnungen durchzuführende Aufgabe.

Als Ausgangskörper der zu erzeugenden Gegenstände im Walzwerk benutzt man im allgemeinen die in den Stahlwerken 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 aus gießtechnischen Gründen und wegen der

unvermeidlichen schnellen Abkühlung die Blöcke im Stahlwerk nicht in Kokillen mit so geringem Querschnitt gießen, daß

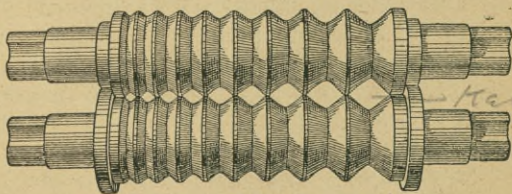


Abb. 14. Kaliberwalzen.

sehen, in einem besonderen Gerüst (*m*) liegenden Zahnräder mit Rammwalzen. Die mittellste von diesen wird unmittelbar von der Walzenzugmaschine angetrieben und versetzt durch Eingreifen ihrer Zähne auch die beiden übrigen in Drehung. Alle drei Rammwalzen 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 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 Grey- und das Sackwalzwerk zur Herstellung großer H-Träger, dann Walzwerke für Eisenbahnradreifen (Bandagen) und Eisenbahnscheibenträger, schließlich Schräg- und Pilgerwalzwerke nach Mannesmann, Ehrhardt u. a. zur Herstellung von Hohlkörpern und nahtlosen Röhren.

Zu einem Walzwerk gehören neben den eigentlichen Walzanlagen noch zahlreiche Einrichtungen, die sehr wichtige Aufgaben haben, wie z. B. Hebetische und Wippen, auf denen das Walzgut in die Höhe der Walzen gebracht wird, Rollgänge, mit deren Hilfe es zu ebener Erde weiterbefördert wird, Schlepp-, Rant-, Drehvorrichtungen, welche die entsprechenden Wirkungen ausüben, Sägen und Scheren zum Schneiden der gewalzten Gegenstände auf bestimmte Längen, Warmbetten zur Aufstapelung und langsamen Abkühlung der Erzeugnisse und schließlich die verschiedenartigsten Öfen, in denen diejenigen Stücke, die nicht in einer Hitze durchgewalzt werden können oder zur Vermeidung zu großer Sprödigkeit wieder geglüht werden müssen, die erforderlichen Temperaturen erhalten.

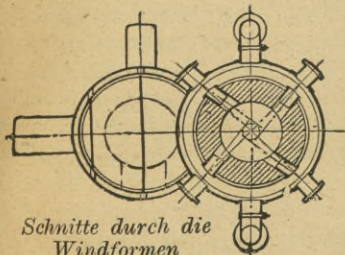
2. Eisen-, Temper- und Stahlgießerei.

Die Darstellung des Eisengusses. Als Rohstoffe für den Eisenguß dienen im allgemeinen die verschiedenen Gießereiroheisen- und allerlei Brucheisensorten, die in den meisten Fällen in einem Gießereischachtofen (Kupolofen, Ruppelofen), selten in einem Flammofen oder sonstigen Schmelzeinrichtungen eingeschmolzen werden. Ein Gießereischachtofen besteht in der Hauptsache aus einem hohen mit feuerfesten Steinen ausgefegten Eisenblechzylinder, dessen lichter Durchmesser für gewöhnlich zwischen 700 und 1400 mm schwankt. Die Beschickung des Ofens erfolgt durch eine Gichtöffnung, die meist 3—6 m über der

Dfensohle liegt. Im unteren Teile enthält der Kuppelofen ähnlich wie ein Hochofen in einer Formenebene (seltener in zwei) 4—8 Windformen, durch die der in Kapselgebläsen oder Ventilatoren erzeugte Gebläsewind in das Ofeninnere gelangt. Der Wind muß in kaltem Zustande, unter geringem Druck und in einer zum Brennstoffinhalt des Ofens verhältnismäßig großen Menge eingeblasen werden, damit sich umgekehrt wie im Hochofen möglichst viel Kohlenäure und wenig Kohlenoxyd bildet, also keine Reduktion wie dort stattfindet.

Die umzuschmelzende Menge an Roheisen und Bruch-
eisen (*Gattierung*) wird abwechselnd mit dem die erforderliche Schmelzhitze erzeugenden Koks und Kalk, der den an den Roheisenmasseln haftenden Sand sowie einen Teil des Schwefels der Beschickung binden soll, nach und nach in einzelnen Schichten oben in den Ofen gegeben. Das über der Dfensohle sich ansammelnde Gußeisen wird nach einer gewissen Zeit durch das unten befindliche Stichloch abgestochen, falls es nicht in einen besonderen unterhalb der Dfensohle befindlichen Vorherd fließt. Die auf dem Eisen schwimmende Schlacke entweicht durch den dicht unter der Formenebene angebrachten Schlackenstisch, sobald sie dessen Höhe erreicht hat, während die wegen ihres hohen Kohlenäuregehalts wertlosen Gase mit offener Flamme aus der Gicht ins Freie abziehen.

Beim Umschmelzen erleidet die chemische Zusammensetzung des eingesetzten Eisens von der



Schnitte durch die
Windformen

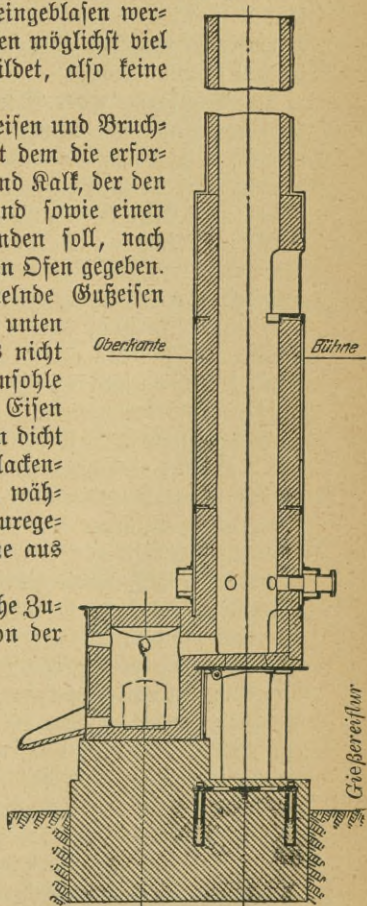


Abb. 18. Kuppelofen mit Vorherd. (Wagerechter und senkrechter Schnitt.)

122 XI. Die Formgebung u. die mechan. u. therm. Behandlung des Eisens
Art und Beschaffenheit der ganzen Beschickung und dem Ofengang abhängige Veränderungen. Im allgemeinen nimmt der Gehalt an Silizium und Mangan ab, während derjenige an Kohlenstoff und Phosphor ziemlich gleich bleibt, der Schwefel aber eine Zunahme erfährt. Das aus dem Kuppelofen oder seinem Vorherd abgestochene Gußeisen läßt man in eine fahr- oder tragbare Pfanne fließen, aus der es entweder unmittelbar oder mit Hilfe großer Gießlöffel in die Gußformen gefüllt wird.

Die Gußformen der Eisen- und Stahlgießerei. Zur Herstellung der Gußwaren benutzt man im allgemeinen einmalige Gußformen, d. h. solche, die nach Beendigung des Gusses wieder zerstört werden. Nur in ganz bestimmten Fällen macht man von sog. Dauerformen aus Eisen Gebrauch, z. B. beim 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, aber auch beim Grauguß, wobei man die Abschreckwirkung durch Ausstreichen der Formen mit Lehm u. dgl. mildert. 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, und sollen in dieser Gestalt dem Druck des eingegossenen flüssigen Eisens standhalten können. Sie müssen ferner feuerbeständig, also so zusammengesetzt sein, daß sie durch das glutflüssige Eisen nicht Veränderungen erleiden, insofern sie ihren Zusammenhang verlieren oder gerade umgekehrt zusammenschmelzen. Schließlich sollen sie sich durch Gasdurchlässigkeit auszeichnen, damit die beim Gießen sich entwickelnden Gase nach außen entweichen können. Als Formstoffe, die diese Eigenschaften von Natur aus oder nach vorhergegangener Mischung mit anderen natürlichen oder künstlichen Stoffen aufweisen, dienen geeignete Formsande, deren Tongehalt meist zwischen 10 und 30% schwankt, ferner Lehm, d. i. ein sandreicher, stark mit Eisenoxydhydrat verunreinigter Ton, schließlich die sog. Masse, eine Mischung aus gebranntem und frischem feuerfesten Ton sowie sonstigen Zusätzen (s. weiter unten). Formsand wird vorwiegend für Eisenguß, Lehm für Eisen- und Stahlguß verwendet, während als Formstoff für Stahlguß hauptsächlich die Masse in Betracht kommt, die allein die erforderliche Widerstandsfähigkeit gegenüber den hohen Schmelztemperaturen des Stahls aufweist. Die tonärmeren sog.

mageren Sandmischungen (unter etwa 15% Tongehalt) haben, wenn sie feucht sind, d. h. etwa 6–10% Wasser enthalten, hinreichende Bildsamkeit. Sie würden diese aber verlieren und nach dem Formen zerbröckeln, wenn man sie trocknen wollte, ehe sie das geschmolzene Metall aufnehmen. Die ungetrockneten Formen aus mageren Sandmischungen bezeichnet man als Formen aus grünem Sande. Die übrigen, aus tonreicheren, fetteren Sanden, Lehm oder Masse bestehenden Formen werden dagegen vor dem Einfüllen des geschmolzenen Eisens oder Stahls stets getrocknet, um dadurch überhaupt erst die erforderliche Widerstandsfähigkeit zu erhalten.

Da gebrauchter Formsand in den „grünen“ Formen nach öfterer Benutzung an Bildsamkeit und Gasdurchlässigkeit verliert, werden die Modelle, ehe der alte Sand aufgestampft wird, mit einem Gemisch aus altem und frischem Sand, sog. Modellsand, umgeben, dem feingemahlener Kohlenstaub zugesetzt worden ist. Dieser Zusatz wird durch die hohen Temperaturen des geschmolzenen Metalls in Kohlenoxydgas umgewandelt, das um die Sandkörner eine feine Hülle bildet und dadurch ein Anbrennen und Festbacken des Sandes am Metall und ein Zusammenfritten der Körner untereinander verhütet. Zum leichteren Loslösen der grünen Form vom Modell werden beide oft noch mit Lycopodium, Holzkohlenstaub oder Graphit und Quarzmehl u. dgl. überstäubt.

Dem Lehm müssen, weil er infolge seines hohen Wassergehalts beim Trocknen der Form stark schwindet, Magerungsmittel zugesetzt werden. Man wählt hierzu Pferde- oder Kuhdünger, Gerberlohe, Torfgrus oder ähnliche, die Bildsamkeit nicht beeinträchtigende, der Schwindung entgegenwirkende Stoffe, welche die Form nach dem Brennen durch Hinterlassung kleiner Hohlräume gasdurchlässig erhalten.

Bei der Masse beugt der gebrannte Ton in Form von gemahlener Scherben gebrauchter Tiegel und Schamotteziegel, alter Formmasse u. dgl. der Schwindung vor. Ein Anbrennen und Zusammenfritten wird hierbei durch Zusatz von feinem Roksmehl oder Graphit sowie durch Ausstreichen der Form mit sog. Schwärze verhütet, einem Gemenge von Graphit, Holzkohle, Ton und Wasser oder Melasse usw.

Eine besondere Zusammensetzung müssen die Kerne haben, d. h. diejenigen Teile einer Form, die einen Hohlraum des künftigen Gußstücks ausfüllen. Der Formstoff für die Kerne soll meist nicht nur bildsam, gasdurchlässig und widerstandsfähig während des Gießens sein,

sondern nach erfolgtem Guß auch leicht bröckelig werden oder sogar zerrieseln, so daß er sich aus dem Hohlraum leicht entfernen läßt. Die Kerne stellt man daher oft aus einem Gemisch von tonarmem Sand mit Bindemitteln her wie Melasse, Sulfitlauge, Dextrin, Öl, Kolophonium, Mehl u. dgl., die durch das glutflüssige Metall vergast werden, also ihre Bindekraft nach dem Guß verlieren.

Zur Herstellung der Gußformen aus den genannten Formstoffen gibt es zwei Verfahren: die Modellformerei und die Schablonenformerei. Bei der ersteren bedient man sich im allgemeinen hölzerner Modelle und, wenn sehr oft ein Abguß von ihnen hergestellt werden soll, 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 (S. 49).

Am einfachsten und billigsten ist der Herdguß in offenen Formen, der jedoch nur für solche Gegenstände in Betracht kommt, die auf einer Seite durch eine ebene Fläche begrenzt sind, wie z. B. Herdplatten, 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.

Die meisten Gegenstände werden in geschlossenen Gußformen durch den Kastenguß ebenfalls mit Hilfe von Modellen hergestellt, und zwar über dem Boden oder halb oder vollständig in ihm. Hierbei erfolgt das Einformen der Modelle in Sand oder Masse innerhalb von eisernen Rahmen (Kästen). Die Modelle haben oftmals solche Gestalt, daß man sie vor dem Guß 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.

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 oben liegt und abgenommen werden kann. Nach Glätten der Oberfläche wird die obere Modellhälfte *b* auf der unteren be-

festigt und der Oberkasten auf den Unterkasten gesetzt, um mit Sand gefüllt zu werden (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, muß der Former den ersteren oben etwas erweitern (Abb. 21), damit der Strahl flüssigen Eisens nicht von der Pfanne aus unmittelbar in die Form strömt und sie dabei beschädigt. Sind diese Arbeiten beendet, wird der Oberkasten wieder abgehoben, so daß aus beiden Kästen die Modelle vorsichtig unter Klopfen herausgezogen werden können. Alsdann wird die Ausbesserung der beschädigten Stellen vorgenommen, die Form ausgestäubt und der inzwischen fertiggestellte 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 (Abb. 21).

Die Herstellung der Kerne erfolgt entweder in Kernkästen, durch Schablonieren oder auf der Kerndrehbank. Die Kerne müssen nach dem Einsetzen in die Form oft durch sog. Kernstützen gehalten und gegen Durchbiegen und Auftrieb im geschmolzenen Metall gesichert werden. 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 für solche Gegenstände, die in großen Massen hergestellt werden, zu beschleunigen und zu verbilligen, wendet man daher vorteilhaft Modellplatten an, also Modellbretter, die mit den daraufliegenden Modellhälften fest verbunden sind. Die Platten sowohl als die Modellhälften selbst bestehen aus Metall (Eisen oder Bronze). Auf zwei zusammengehörigen Modellplatten sind die einander entsprechenden Modellhälften so angeordnet, daß, wenn man Oberkasten und

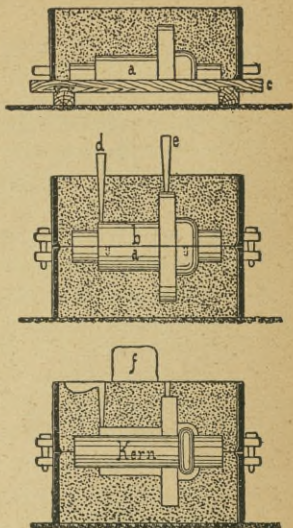


Abb. 19 bis 21.
Kastenformerei mit Modellen.

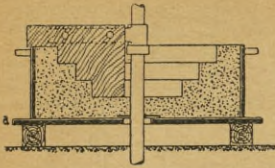


Abb. 22. Schablonenformerei.

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 diese vor Beschädigungen besser bewahrt bleibt und nicht so viele langwierige Ausbesserungen erfordert wie eine ohne Anwendung von Modellplatten hergestellte Form. 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-, Wendepplatten-, 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. Hierbei kommen zwar die kostspieligen Modelle in Fortfall, trotzdem werden an die Geschicklichkeit der Arbeiter hohe Anforderungen gestellt. Aus Abb. 22 geht hervor, wie die Schablonenformerei gehandhabt wird. Es handelt sich hier um die Herstellung der Unterform eines Scheibenrades. Der Unterkasten wird zunächst auf die Eisenplatte *a* gestellt und mit dem Formstoff gefüllt. Sodann wird durch Drehen der Schablone um die Spindel, die durch die Platte *a* hindurchragt, die Form aus dem Sande ausgedreht.

Die Darstellung des schmiedbaren Gusses oder Tempergusses. Mit schmiedbarem Guß oder Temperguß¹⁾ bezeichnet man aus Guß-

1) Die Bezeichnungen Tempern statt Glühfrischen und Temperguß statt schmiedbarer Guß werden so häufig für das oben beschriebene Frischverfahren bzw. sein Erzeugnis gebraucht, daß sie auch hier beibehalten werden sollen, obwohl man mit Tempern zur Unterscheidung besser nur das in Amerika besonders häufig angewendete Glühen von weißem Guß unter Luftabschluß bezeichnen würde, und mit Temperguß dessen Erzeugnis, das infolge Zerlegung des Eisenkarbids (Zementits) in Eisen und Temperkohle lediglich weicher und zäher als der ungeglühte Guß ist, aber keine so erhebliche Abnahme an Kohlenstoff aufweist wie der schmiedbare Guß. Der Ausdruck Temperstahlguß ist grundsätzlich zu vermeiden, weil er irreführend ist; Temperguß ist Eisenguß, kein Stahlguß.

eisen hergestellte Gußstücke, die nach dem Erkalten durch Glühen in sauerstoffabgebenden Mitteln eine solche Verminderung an Kohlenstoff erfahren, daß sie, sowohl ihrer chemischen Zusammensetzung als auch bestimmter Festigkeitseigenschaften wegen der Gruppe des schmiedbaren Eisens zuzurechnen sind. Die Darstellung des schmiedbaren Gusses oder Tempergusses ist also eine Art Frischen, bei dem das zur Gruppe des Roheisens gehörige Gußeisen nicht wie bei den übrigen Frischverfahren in teigigem oder flüssigem, sondern in festem Zustande in schmiedbares Eisen umgewandelt wird. Da das Frischen, also die Oxydation des Kohlenstoffs, durch einen Glühvorgang in sauerstoffabgebenden Stoffen erfolgt, bezeichnet man die Darstellung des schmiedbaren Gusses mit Glühfrischen. Das erst nach dem Guß einsetzende Frischen rechtfertigt die Beschreibung des Verfahrens an dieser Stelle unter Gießerei statt unter dem Frischverfahren. Das Glühfrischen war schon zu Anfang des 17. Jahrhunderts bekannt und ist später im Jahre 1722 von dem Physiker und Zoologen Réaumur, der durch seine achtzigteilige Thermometerskala besonders bekannt geworden ist, in geradezu vorbildlicher Weise beschrieben worden. Daß das Verfahren sich nicht nur bis heute erhalten hat, sondern sogar in recht erheblichem Umfange verwendet wird, obwohl man seit Mitte vorigen Jahrhunderts Gegenstände unmittelbar aus schmiedbarem Eisen (Flußeisen, Flußstahl) zu gießen, also Stahlguß herzustellen gelernt hat, ist verständlich, wenn man sich die beim Stahlguß auftretenden Eigenschaften des Schwindens und Dunkerns vor Augen hält, die sich bei Gußstücken mit geringem Querschnitt besonders unangenehm bemerkbar machen und daher das Stahlgießen dem Tempern bei Herstellung derartiger Gegenstände unterlegen machen. Auch das Schmieden aus kleinen Blöcken ist in solchen Fällen oft technisch und wirtschaftlich nicht so vorteilhaft. Abgesehen davon spricht für den Temperguß meist auch noch seine leichte Bearbeitbarkeit durch Bohrwerkzeuge usw.

Die Gewinnung eines für die Tempergießerei geeigneten Gußeisens aus Roheisen erfolgt bei Massenerzeugung hauptsächlich in Flamm- und Kuppelöfen, bei Herstellung bessern Gusses in Tiegel- oder Martinöfen, bisweilen auch in Kleinbessmerbirnen und Elektroöfen. Für die Gattierung verwendet man graue und weiße Roheisenforten (mit Vorliebe schwedisches Holzkohlenroheisen), daneben Schmiedeisenschrott, Eingüsse u. dgl.

Das zum Glühfrischen bestimmte, aus den erwähnten Rohstoffen im Flammofen usw. hergestellte Tempergußeisen muß weißen Bruch haben, den Kohlenstoff also in gebundener Form als Eisenkarbid (Zementit) enthalten, da Graphit beim Glühen nur schwer und langsam oxydiert wird. Ein niedriger Kohlenstoffgehalt (2,5—2,75 %) ist vorteilhaft, um die Frischdauer abzukürzen. Zu viel Mangan (über etwa 0,3 %) würde nachteilig sein, weil das Element die Lösungsfähigkeit für Kohlenstoff erhöht, dessen Abscheidung beim Frischen also entgegenwirkt. Da Silizium gerade umgekehrt den Zerfall des Eisenkarbids begünstigt und einer zu starken Schwindung vorbeugt, andererseits aber bei der Darstellung des Tempergußeisens im Flammofen usw. auch die Graphitbildung befördert, die ja vermieden werden soll, muß der Si-Gehalt sich in ganz bestimmten mittleren Grenzen halten (0,5 bis höchstens 1 %).

Das Glühfrischen geht in Öfen verschiedenster Bauart vor sich, die meist mit festen oder gasförmigen Brennstoffen geheizt werden. Als Glühmittel dient in Deutschland oft in Erbsengröße zerkleinerter, sorgfältig aufbereiteter Roteisenstein (Fe_2O_3), der mit schon zu dem gleichen Zweck gebrauchtem Erz zur Abschwächung der Oxydationswirkung gemischt wird. Die zu tempernden Gußstücke werden für gewöhnlich in abwechselnden Lagen mit dem Erz in meist zylindrische, durch einen Deckel abzuschließende eiserne Gefäße (Glühtöpfe) gepackt und in diesen in den Öfen gebracht. Die Glühdauer richtet sich nach der chemischen Zusammensetzung des Gusses, der Stärke der Stücke und dem Durchmesser der Glühtöpfe. Sie beträgt im Durchschnitt etwa 8 Tage, wovon 1 Tag für das Anheizen und etwa 2 Tage zur Abkühlung erforderlich sind, wenn günstige Ergebnisse erzielt werden sollen. Die geeignetste Glühtemperatur liegt um etwa 900° herum. Der Glühvorgang spielt sich vorwiegend in der Weise ab, daß zunächst das Eisenkarbid, der Zementit, nach der Formel $\text{Fe}_3\text{C} = 3\text{Fe} + \text{C}$ in Eisen (Ferrit) und Kohlenstoff (Temperkohle) zerlegt und dann durch Vereinigung des Kohlenstoffs am Rand der Gußstücke mit Erzsauerstoff CO und weiterhin CO_2 gebildet wird, welche in die Stücke eindringt und dabei den Kohlenstoff bis in ihren inneren Kern hinein zu CO vergast. Die Kohlenäure spielt also die Rolle des Sauerstoffübertragers. Ein Zerfall des Zementits in Ferrit und Temperkohle braucht nicht in allen Fällen einzutreten, die Entkohlung kann auch ohne diesen Zerfall dadurch erfolgen, daß die zementitreichern inneren

Teile an die schon entkohlten äußeren Kohlenstoffe abwandern lassen. Es findet dann der gleiche Vorgang, nur in umgekehrter Richtung wie bei der Zementstahldarstellung statt.

In Temperguß werden meist nur Gegenstände mit 3—8 mm, selten bis zu 25 mm Wandstärke hergestellt, wie z. B. alle Arten Schlüssel, Kurbeln, Hebel, Rohrflanschen, Waggon- und Baubeschlagteile, Hufeisen, Teile von landwirtschaftlichen Maschinen u. dgl.

Die Darstellung des Stahlgusses. Bei der Stahlgießerei wird das zu vergießende Material (Flußeisen, Flußstahl) im Siemens-Martin-Ofen, in der Kleinbessmerbirne, im Tiegelofen oder im Elektrostahtofen erschmolzen.

Der Stahlgießerei-Martinofen, in dem der Stahl übrigens durchweg nach dem Schrottverfahren (vgl. S. 104) erzeugt wird, hat meist saures Futter und eine Fassung von 5 bis 12 t, bisweilen auch mehr. 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 dieser geringer und sehr schwankend, so eignen sich mehr die Kleinbessmerbirnen, die im Gegensatz zu den Birnen des Großbetriebes meist nur ein Fassungsvermögen von 1—2 t, seltener bis 3 t haben, mit saurem Futter versehen sind und seitliche Windzuführung aufweisen, wobei der Wind schräg von oben her durch einige Düsen auf die Badoberfläche, nicht vom Boden aus durch das Bad selbst geblasen wird wie bei der Großbirne. Das in der Birne zu frischende Roheisen wird vorher im Kuppelofen eingeschmolzen. Tiegel- und Elektrostahtöfen werden in den Stahlgießereien nur zur Darstellung von Material benutzt, aus dem besonders hochwertige Gußstücke hergestellt werden sollen.

Wegen der hohen Schmelztemperaturen des Flußeisens und -stahls können für den Stahlguß, wie schon erwähnt, 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 erhalten kann.

Infolge des hohen Schwindungskoeffizienten des Stahls (S. 49) treten in Stahlgußstücken leichter als in Eisenguß beim Abkühlen

starke Spannungen auf, die zur Rißbildung oder sogar zur Zerreißung des Stückes noch in der Form oder später bei der Benutzung führen können. Außer durch verschiedene gießtechnische Kunstgriffe lassen sich die Spannungen, wie schon früher erwähnt, auch durch sachgemäßes Glühen beheben. Hierzu dienen besondere Glühöfen verschiedener Bauart, die durch feste, flüssige oder gasförmige Brennstoffe beheizt werden. Die Temperaturen in den Öfen und die Glühdauer richten sich dabei nach der Zusammensetzung und Größe der Gußstücke.

Bearbeitung der Gußstücke. Die Eisen- und Stahlgußstücke müssen nach ihrer Entfernung aus den Formen noch einer eingehenden Bearbeitung unterzogen werden. Zunächst werden die Eingüsse und verlorenen Köpfe abgeschlagen bzw. abgeschnitten, worauf in der Putzerei mit Hilfe von Putztrommeln, Sandstrahlgebläsen und anderen Vorrichtungen jede Unebenheit der Gußstücke beseitigt, etwa an ihnen noch anhaftender Sand entfernt und der Oberfläche überhaupt ein ansehnliches Äußere gegeben wird. Bei den Sandstrahlgebläsen wird dieses Ziel durch Druckluft erreicht, die mehr oder weniger grobkörnigen Sand in starkem Strahl auf die zu putzende Stelle preßt.

In allen neuzeitlich eingerichteten Eisen- und Stahlgießereien sind außerdem noch Maschinen zur Aufbereitung der Formstoffe, Gießereirückstände u. dgl. vorhanden, ferner Fördereinrichtungen verschiedenster Art für Rohstoffe, Fertigerzeugnisse usw., überhaupt Anlagen, die menschliche Arbeit durch mechanische ersetzen und die ganze Wirtschaftlichkeit des Betriebes erhöhen. Doch mancherlei wäre hier noch verbesserungsfähig. Der Geist des Fortschritts darf auch in diesem Zweige der Technik nicht ruhen ebensowenig wie in einem anderen. Von der steten Bervollkommnung der Technik hängt in hohem Maße die Weiterentwicklung unseres Wirtschaftslebens ab, das der wichtigste Grundpfeiler für den Wiederaufbau unseres schwer geprüften Vaterlandes ist.

Sachverzeichnis.

- Abschrecken 40, 47
 Abstechen 87
 Abstichloch 80, 121
 Agglomerieren 72
 Anbrennen 123
 Anlassen 40
 Anlaßzustände 41
 Anthrazit 59
 Arbeitseigenschaften des Eisens 48
 Arsenkies 66
 Ätzen 35
 Aufbereitung (Erz-) 71
 Austerit 40

 Backöfen 60
 Ballen (der Walzen) 117
 Bandagenwalzwerk 120
 Basen 34
 Benzol 62
 Bergeversatz 90
 Berstrand = Thiel = Verfahren 107
 Beschickmaschine 105
 Bessmerbirne 92
 Bessmerroheisen 28, 56, 93
 Bessmerverfahren 16, 95
 Blasebälge 9
 Blaubruch 51
 Blauhitze 51
 Blech 116
 Blei 86
 Blöcke 30, 100, 116
 Bodenstein 80
 Bohrerz 68
 Branneisenstein 67
 Braunkohle 58
 Braunkohlenförderung 25

 Brennköpfe 103
 Brennstoffe 58 ff.
 Bricketierung (Erz-) 72
 Bricketts (Kohle-) 61
 Bund (der Walzen) 117

 Calorie s. Kalorie
 Chargiermaschinen 105
 Chrom 45, 47
 Converter s. Konverter
 Coquille s. Kottille
 Cowper-Winderhitzer 78

 Daelen = Piszczolka = Verfahren 107
 Dampfhammer 115
 Dampfmaschine 14
 Darby-Verfahren 96
 Desoxydation
 beim Bessmerprozeß 96
 „ Thomasverfahren 98
 „ Martinverfahren 106
 Deul 8
 Direkte Eisendarstellung 8
 Dolomit 98, 102
 Drehrohröfen 72
 Dreimalzwerk 119
 Dübel 125
 Dübelinger Verfahren 96
 Duomalzwerk 119
 Durchsehzzeit 87
 Düsenstock 80

 Edelgase 33
 Ehrhardt'sches Verfahren 120
 Einfuhr an Eisenerzen 23
 Einguß 125
 Eingußtrichter 100
 Einseßmaschine 105

 Einteilung des Eisens 53
 Eisen (Metall Fe) 34
 Eisen (technisches)
 Erläuterung 36
 Eigenschaften 43
 Darstellung 73 ff.
 Eisenerze
 Förderung 21
 Ein- und Ausfuhr 23
 Zusammensetzung 65
 Vorkommen 66 ff.
 Eisengießerei 32, 120
 Eisenglanz 67
 Eisenhüttenkunde 15
 Eisenkarbid 39
 Eisenkarbonat 65, 68, 73
 Eisenkohlenstofflegierungen 38 ff.
 Eisenoxyd 68
 Eisenportlandzement 90
 Elastizität 44
 Elektrische Leitfähigkeit 47
 Elektrische Roheisendarstellung 87
 Elektroden 111
 Elektrohängebahn 82
 Elektrolyse 110
 Elektrostahl 17, 114
 Elemente (chemische) 33
 Erdöl 60
 Erstarrungspunkt 48
 Erzbriquetts 72
 Erzgicht 83
 Eutektisch 48

 Fe (Eisenmetall) 34
 Feinerze 72
 Ferrit 39
 Ferromangan 89, 96, 106
 Ferrosilizium 89, 96, 106

- Fertigfabrikate 116
 Festigkeit 44
 Fettkohlen 60
 Flußeisen
 Geschichtliches 16
 Statistik 26, 29 ff.
 Erklärung 54
 Darstellung 92
 Formen f. Gußformen
 Formenebene 80, 121
 Formgebung 115
 Formmaschine 126
 Formsand 122, 123
 Formstoffe 122
 Frischeisen 10
 Frischverfahren 10, 92
 Gangarten 65
 Gargang 87
 Gasblasen 50
 Gasflamkohlen 60
 Gaskohlen 60
 Gattierung 121
 Gebläse 9, 77
 Gebläsemaschine 77
 Gefügebestandteile 39
 Gemenge (mechan.) 36
 Gemische (physikal.) 36
 Generatorgas 64
 Geschichte des Eisens 7
 Gestell (des Hochofens) 79
 Gewerbscienschaften 44
 Gicht 79
 Gichtaufzüge 82
 Gichtbühne 82
 Gichtgas
 Geschichtliches 15
 Zusammensetzung 64
 Verwendung 91
 Gichtstaub 91
 Gichtverschluß 80
 Gießereifoks 62
 Gießereiroheisen 28, 56
 Gießereischachtofen 120
 Gießformen 100
 Gießtran 100
 Gießlöffel 122
 Gießpfanne 100
 Gießwagen 100
 Girofosen 112
 Gleichungen (umkehrbare)
 85
 Glühen 72
 Glühfriichen 127
 Glühtöpfe 128
 Granulieren 89
 Graphit 41
 Graues Roheisen 54
 Grauguß 54
 Greywalzwerk 120
 Grubenfeuchtigkeit 65
 Grüner Sand 123
 Guß (direkter und stei-
 gender) 100
 Gußeisen 56, 121
 Gußformen (einmalige
 und dauernde) 122
 Gußspannungen 38, 130
 Gußstahl f. Tiegelstahl
 Halbzeuge 116
 Hämatit (Eisen) 56
 (Erz) 66
 Hängen der Gichten 87
 Härbarkeit 52
 Härte 46
 Hartguß 122
 Hebetische 120
 Heizwert 58, 59
 Herdfriichen 101
 Herdguß 124
 Héroultofen 111
 Hochofen 11, 27, 79
 Hochofengas f. Gichtgas
 Hochofentoks 62
 Hochofenprozeß 82
 Hochofenschlacke 89
 Hochofenzement 90
 Hoefchverfahren 107
 Holz 58
 Holzkohle 8, 61
 Holzkohlenroheisen 18, 61
 Homogene Stoffe 35
 Indirekte Eisendarstellung
 10
 Indirekte Reduktion 83
 Induktionsheizung 113
 Induktionsöfen 114
 Ingots 101
 Inhomogene Stoffe 35
 Kaliberwalzen 117
 Kalk 70, 98
 Kalorie 58
 Kaltbrüchig 45
 Kalttrecken 51
 Kammwalzen 119
 Kantborrichtungen 120
 Kapfelgebläse 121
 Karbidkohle 46
 Kastenguß 124
 Kehrwalzwerk 119
 Kellerofen 113
 Kern 123
 Kiesabbrände 69
 Kieselsäure 65, 70, 90, 97
 Kleinbessmerbirne 129
 Kleingefüge 38
 Klossschlacke 89
 Knüppel 116
 Kohlendioxyd 57, 83
 Kohleneisenstein 69
 Kohlenoxyd 83, 95
 Kohlensäure 79
 Kohlensäure f. Kohlen-
 dioxyd
 Kohlenstoff 10, 36, 38 ff.
 Kohlung
 beim Hochofenprozeß 84
 " Bessmerprozeß 96
 " Thomasprozeß 98
 " Martinprozeß 106
 Kofille 100
 Koks 11, 62
 Koksdarstellung 62
 Kokszerzeugung (Höhe) 25
 Kokslicht 83
 Koksöfengas 64
 Kontinuierliche Walz-
 werke 118
 Konverter 92
 Konverterauswurf 69
 Körnen 89

- Korngröße 41
 Korngefüge 42
 Korrosion 48
 Kristallisation der Legierungen 37, 38
 Kristalliten 34
 Kribelbegichtung 81
 Kühlkästen 80
 Kuppelofen 94, 120
 Kupplungszapfen 117
 Laufzapfen 117
 Legierungen 36
 Lehm 122, 123
 Leitfähigkeit, elektr. 47
 Lichtbogenheizung 111
 Limonit 67
 Lösungen (flüssige und feste) 36
 Luft (Zusammensetzung) 76
 Lunkenbildung 50
 Luppe 8, 13
 Luppenmachen 13
 Lürmannsche Schlackenform 80
 Magerkohlen 60
 Magerungsmittel 123
 Magnetenstein 66
 Magnetische Eigenschaften 35, 47
 Magnetit 66
 Mangan 45, 51, 69, 86, 96
 Manganerze 28, 69
 Mannesmannverfahren 120
 Martensit 40
 Martinofen 102
 Martinroheisen 89
 Martinverfahren 101
 Masse 122, 123
 Masselbetten 87
 Mechanische Behandlung 115
 Meiler 61
 Metalle 33
 Metallographie 38
 Metalloide 33
 Meteoriten 65
 Mikrostruktur 38
 Minette 67
 Mischer 94
 Mischkristalle 36, 39
 Modellbrett 124
 Modellformerei 124
 Modellplatten 125
 Möller 82
 Monellverfahren 107
 Mulden 106
 Nachblasen 98
 Nathusiusofen 113
 Naturgas 60
 Naturhärte 55
 Netzgefüge 43
 Nichtmetalle 33
 Nickel 45, 47
 Oberkästen 125
 Dolithisches Erz 67
 Osmondit 41
 Oxidation 74
 Perlit 39
 Phosphor 45, 98
 Phosphorsäure 100
 Physikalische Gemische 36
 Pilgerwalzwerk 120
 Platinen 116
 Polplatten 114
 Portlandzement 90
 Preßkohlen 61
 Pressen 116
 Primärstrom 113
 Puddelofen 12
 Puddelroheisen 56, 89
 Puddelschlacken 69
 Puddelverfahren 12
 Purpurerz 69
 Puzzolanzement 90
 Raffinierstahl 29
 Raseneisenerz 68
 Raß 79
 Reduktion 73, 83
 Regenerativgasfeuerung 101
 Rennfeuer 8
 Reversierwalzwerk 119
 Röchling-Rodenhauser-Ofen 114
 Roheisen
 Geschichtliches 9
 Statistik 26 ff.
 Erklärung 53
 Darstellung 75 ff.
 Zusammensetzung 89
 Roheisenerzverfahren 106
 Roheisenmischer 94
 Rohgang 87
 Rohstoffe 18
 Rosten 48
 Röstfen 73
 Rotbrüchig 45
 Roteisenstein 66
 Rückföhlen 96
 Saalwalzwerk 120
 Sandföhlen 60
 Säurebeständigkeit 48
 Säuren 34
 Schablonenformerei 126
 Schacht des Hochofens 79
 Schlacke (Hochofen-) 70, 89
 Schlackenform 80
 Schlackenzement 90
 Schleppevorrichtungen 120
 Schmelzbarkeit 48
 Schmelzpunkt 34, 48
 Schmiedbarer Guß 56, 126
 Schmiedbares Eisen
 Geschichtliches 8, 12
 Erklärung 53
 Darstellung 92 ff.
 Schmiedbarkeit 50
 Schmieden 115
 Schmiedepresse 116
 Schnellschnittstahl 57
 Schöpfprobe 98
 Schrägaufzug 82
 Schrott 30, 104
 Schrottroheisenverfahren 104

- Schwärze 123
 Schwefel 45, 62, 70
 Schwefelkies 66
 Schweißbarkeit 52
 Schweißisen
 Geschichtliches und Darstellung 8
 Statistik 29
 Erklärung 54
 Schweißschlacke 69
 Schwindmaß 49, 129
 Schwindung 49, 129
 Seigerung 50
 Sekundärstrom 113
 Selbstgehende Erze 71
 Selbsthärtende Stähle 55
 Selbsttätige Begichtungs-
 vorrichtung 82
 Siderit 68
 Siemens-Martin-Verfahren 17, 101
 Silizium 50, 93, 107
 Siliziumspiegel 89
 Sinterkohle 60
 Sorbit 41
 Spannungen in Guß-
 flücken 50, 130
 Spektroskop 97
 Spateisenstein 68
 Sphärosiderit 69
 Spiegeleisen 56, 96
 Stabeisen 116
 Stahl (Erklärung) 54
 Stahlisen 28, 56
 Stahlformguß 129
 Stahlgießerei 32, 129
 Stahlguß i. Stahlformguß
 Statistisches 21
 Staubsammler 91
 Steinkohlen 58
 Steinkohlenförderung 25
- Stochloch 80, 121
 Streckung 117
 Stripperfron 101
 Stückofen 8
 Sumpferz 68
 Surzeckverfahren 107
- Talbotverfahren 107
 Teeröle 62
 Temperkohle 41, 128
 Tempern 105
 Tempergießerei 32, 126
 Temperguß 56, 126
 Thermische Analyse 38
 Thermische Behandlung 115
 Thomasflußeisen 100
 Thomasphosphatmehl 99
 Thomasroheisen 28, 56, 99
 Thomaschlacke 99
 Thomasverfahren 16, 97
 Tiegel 108
 Tiegelstahl
 Geschichtliches 13
 Statistisches 29, 30
 Erklärung 57
 Darstellung 108
 Toneisenstein 69
 Tonerde 65, 90
 Torf 58, 59
 Transformator 113
 Triowalzwerk 119
 Troostit 41
- Umwandlungstemperatur 39
 Umwandlungszone 39
 Universalwalzwerk 120
 Unterkasten 125
 Unterkühlung 40
- Verbindungen (chemische)
 35
 Verbrennung 57
 Verkokung 11, 59
 Vorfrischen 107
 Vorbereitung 71, 76
- Walzen 116
 Walzenständer 116
 Walzenstraße 117
 Walzenzugmaschine 119
 Walzgerüst 116
 Walzwerk 117
 Wärmeinheit (W.-E.) 58
 Wärmespeicher 102
 Warmreckverfahren 51
 Weißes Roheisen 54
 Widmannstättenches Gefüge 43
 Wind 76
 Winddruck 77
 Winderhizer 78
 Windformen 79, 121
 Windfrischen 92
 Windkasten 93
 Windpeife 124
 Wippen 120
 Wittowitzer Duplexverfahren 107
 Wolf 8
 Wolfram 33, 47
- Zähigkeit 44
 Zeilenstruktur 43
 Zementieren 14
 Zementit 40
 Zementstahl 14, 29
 Zentrifugareiniger 91
 Zinkschwamm 86
 Zuschläge 70
 Zwiwalzwerk 119

Bergbau. Von Bergass. F. W. Wedding. (AlluG Bd. 467.) M. 6.80, geb. M. 8.80
Die Eisenindustrie. Von Prof. O. Simmersbach. Mit 92 Abbildungen.
Geb. M. 18.—, geb. M. 20.—

„. . . All das ist in ungemein anregender Form erörtert und knapp und übersichtlich, aber in müßergütig vollständiger Weise zusammengefaßt.“ (Centralblatt d. Hütten- u. Walzwerke.)

Leitfaden der Elektrizität im Bergbau. Von Prof. Dr. W. Brüsch.
Mit 411 Abb. im Text. Geb. M. 20.—

„Die Darstellung ist klar und einfach, es werden zum Verständnis des Gegenstandes keine allzu hohen Anforderungen an die Vorkenntnisse des Lesers gestellt, der Leitfaden ist demnach als den angestrebten Zwecken vollkommen angepaßt zu bezeichnen.“ (Dinglers polytechn. Journal.)

Rohstoffkunde. Von Gewerbeschulrat Uhrmann und Ing. Gewerbelehrer F. Schuth. Mit 96 Abb. I. Teil d. Sachkunde für Maschinenbauerkfl. an gewerbl. Fortbildungsschulen. (Lehrm. f. gewerbl. Fortbildungsschulen.) Kart. M. 7.65.

Metallurgie. Von Dr. Ing. Nügel. I. Leichtere Edelmetalle. II. Schwermetalle. (AlluG Bd. 446/47.) Kart. je M. 6.80, geb. je M. 8.80. [u. d. Pr. 1921]

Unsere Kohlen. Von Bergassessor Paul Kufak. 2. verb. Aufl. Mit 49 Abbildungen und 1 Tafel. (AlluG Bd. 396.) Kart. M. 6.80, geb. . . M. 8.80

„Dies ist eine vortreffliche Darstellung alles Wissenswerten über die Kohlen mit Einschluß des Torfes. Auch Abbau und technische Verwertung sind dabei berücksichtigt. Das Büchlein kann jedem zur Lektüre empfohlen werden; selbst der Sachmann wird manches darin finden, was in den besten Lehrbüchern der Geologie nicht enthalten ist.“ (Geologische Rundschau.)

Maschinenbau. Von Ing. O. Stolzenberg, Direktor der Gewerbeschule u. d. gewerbl. Fach- und Fortbildungsschulen zu Charlottenburg. Band I: Werkstoffe des Maschinenbaues und ihre Bearbeitung auf warmem Wege. Mit 255 Abb. Geb. M. 24.—. Band II: Arbeitsverfahren. Mit 750 Abb. Geb. M. 45.—. Band III: Methodik der Sachkunde u. Sachrechnen. Mit ca. 35 Abb.

Das aus langjähriger Erfahrung der Praxis und im Unterricht hervorgegangene Werk behandelt nach dem neuesten Stand des Maschinenbaues in seinem I. Band Die Rohstoffe des Maschinenbaues einschließlich der Ersatzstoffe, soweit sich ihre Verwendung bewährt hat, die Mittel und Wege zu ihrer Prüfung und ihrer Bearbeitung auf warmem Wege. In Band II gelangt die Arbeit des Maschinenbauers in ihren sämtlichen Verfahren, sei es, daß sie mit der Hand oder mit der Maschine ausgeführt werden, zur Darstellung. Der III. Band ist für die Hand des Lehrers an gewerblichen Schulen bestimmt. Er gibt ihm eine bisher noch nicht vorhandene Anleitung, wie der in Band I und II dargebotene Stoff im Unterricht zu behandeln, wie das Anschauungsmaterial zu beschaffen und zu verwerten ist und bietet neben anderen wertvollen Hinweisen zahlreiche Sachrechenaufgaben aus der Werkstattpraxis.

Kraftmaschinen. Teil III d. Sachkunde für Maschinenbauerkfl. a. gewerbl. Fortbildungsschulen. Bearb. v. Gewerbeschulr. Uhrmann u. Ing. u. Gewerbelehrer F. Schuth. (Lehrmittel f. gewerbl. Fortbildungsschulen.) Kart. M. 8.10

Mechanische Technologie. Von Prof. Dr. R. Escher. 2. Aufl. Mit 418 Fig. Kart. M. 20.—

Das Buch umfaßt den wichtigsten Teil der mechanischen Technologie: den Maschinenbau. Es werden, ohne Kenntnisse vorauszusetzen, die Rohstoffe, ihre Eigenschaften und ihre Verarbeitung behandelt, und zwar wird von der Erzeugung der Metalle ausgegangen. Ihr folgt die Beschreibung der Methoden der rohen Formgebung durch Gießen und Dehnen und endlich der genauen Ausarbeitung mittels schneidender Werkzeuge; überall ist das Hauptgewicht auf die Schilderung der Arbeitsvorgänge gelegt.

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Die in diesen Anzeigen angegebenen Preise sind die ab 1. Juli 1921 gültigen als freibleibend zu betrachtenden Ladenpreise, zu denen die meinen Verlag vorzugsweise führenden Sortimentsbuchhandlungen sie zu liefern in der Lage und verpflichtet sind, und die ich selbst berechne. Sollten betreffs der Berechnung eines Buches meines Verlages irgendwelche Zweifel bestehen, so erbitte ich direkte Mitteilung an mich.

Zeitgemäße Betriebswirtschaft

Von

Dr. Ing. G. Peiseler

I. Teil: Grundlagen. Geb. M. 34.—

In dem Werk ist ein umfassendes System der deutschen Betriebswirtschaft entwickelt. Vom wirtschaftlichen Aufbau des Einzelunternehmens ausgehend, werden alle grundlegenden Fragen, die unsere heutige Wirtschaft beherrschen, in ihrem inneren Zusammenhange behandelt. Eingangs wird auf die Notwendigkeit hingewiesen, Psychologie der Mitarbeiter zu treiben und eine gerechte Verteilung des Ertrages der Wirtschaft herbeizuführen, um die Arbeitsfreudigkeit zu wecken, den inneren Wirtschaftsfrieden herzustellen und dadurch die Produktion zu steigern. Darauf wird der rationelle Aufbau des Einzelbetriebes und der Gang der Arbeiten durch das Technische Büro, den Einkauf, die Fertigung, den Vertrieb dargestellt und gezeigt, wie die Selbstkosten im Augenblick an der Stelle des Entstehens zu erfassen sind und wie diese für die Preisbildung gesondert zu verwerten sind. Darüber hinaus werden die Fragen der verbandsmäßigen Preisbildung, des Einflusses der Geldentwertung und des Studiums der Auslandsteuerungslage behandelt und die Bedeutung des Taylorsystems für die deutsche Wirtschaft untersucht. Die Darstellung ist auf der Grundlage von Wahrheit und Klarheit ohne jede Parteinahme auf das Wohl aller Arbeitenden gerichtet. Sie werden an der Fülle der Gedankenreiche Anregungen finden, die ihrem eigenen Tätigkeitsfeld und der allgemeinen deutschen Sache von Nutzen sein werden.

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Preise freibleibend!

S-96

S. 61

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



I-301529



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000295881