

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

L. inv.

~~592~~

istesswelt

W. Wedding
Das
Eisenhüttenwesen

Siebente Auflage

BG

B. G. Teubner. Leipzig. Berlin

Die Sammlung „Aus Natur und Geisteswelt“

nunmehr über 800 Bände umfassend, bietet wirkliche „Einführungen“ in abgeschlossene Wissensgebiete für den Unterricht oder Selbstunterricht des Laien nach den heutigen methodischen Anforderungen und erfüllen so ein Bedürfnis, dem weder umfangreiche Enzyklopädien, noch skizzenhafte Abrisse entsprechen können. Die Bände wollen jedem geistig Mündigen die Möglichkeit schaffen, sich ohne besondere Vorkenntnisse an sicherster Quelle, wie sie die Darstellung durch berufene Vertreter der Wissenschaft bietet, über jedes Gebiet der Wissenschaft, Kunst und Technik zu unterrichten. Sie wollen ihn dabei zugleich unmittelbar im Beruf fördern, den Gesichtskreis erweiternd, die Einsicht in die Bedingungen der Berufsarbeit vertiefend.

Die Sammlung bietet aber auch dem Fachmann eine rasche zuverlässige Übersicht über die sich heute von Tag zu Tag weitenden Gebiete des geistigen Lebens in weitestem Umfang und vermag so vor allem auch dem immer stärker werdenden Bedürfnis des Forschers zu dienen, sich auf den Nachbargebieten auf dem laufenden zu erhalten. In den Dienst dieser Aufgaben haben sich darum auch in dankenswerter Weise von Anfang an die besten Namen gestellt, gern die Gelegenheit benutzend, sich an weiteste Kreise zu wenden.

Seit Herbst 1925 ist eine Neuerung insofern eingetreten, als neben den Bänden im bisherigen Umfange solche in erweitertem, etwa anderthalbfachem zu $1\frac{1}{2}$ fachem Preise ausgegeben werden, weil abgeschlossene Darstellungen größerer Gebiete auf beschränkterem Raume heute schwer möglich sind. Diese Bände, die die Nummern von 1001 ab tragen, erscheinen, um die Einheitlichkeit der Sammlung zu wahren, in der gleichen Ausstattung wie die übrigen Bände. Sie sind nur auf dem Rückentitel durch je ein Sternchen über und unter der Nummer besonders gekennzeichnet.

Alles in allem sind die schmucken, gehaltvollen Bände besonders geeignet, die Freude am Buche zu wecken und daran zu gewöhnen, einen Betrag, den man für Er

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000296127

Leipzig, im Januar 1926.

Teubner

Bisher sind erschienen zur Technik und mechanischen Industrie:

Geschichte und Grundlagen der Technik.

Schöpfungen der Ingenieurtechnik der Neuzeit. Von Ober- u. Geh. Reg.-Rat M. Weitzel. 2. Aufl. Mit 32 Abbildungen. (Vd. 28.)

Einführung in die Technik. Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. H. Lorenz. Mit 77 Abb. im Text. (Vd. 729.)

Mechanik.

Mechanik. Von Prof. Dr. G. Hamel. I. Grundbegriffe der Mechanik. Mit 38 Figuren. *II. Mechanik der festen Körper. *III. Mechanik der flüssigen u. luftförmigen Körper. (Vd. 684 80.)

Aufgaben aus der technischen Mechanik. Für den Schul- und Selbstunterricht. Von Prof. N. Schmitt. I. Bewegungslehre, Statik und Festigkeitslehre. 2. Aufl. 240 Aufgaben und Lösungen. Mit zahlreichen Figuren im Text. II. Dynamik und Hydrostatik. 2. Aufl. besorgt von Studiendirektor Prof. Dr. G. Wegner. 198 Aufgaben und Lösungen mit zahlreichen Figuren im Text. (Vd. 558 559.)

Statik. Von Gewerbeschulrat Oberstudienrat A. Schau. 2. Aufl. Mit 112 Fig. (Vd. 828.)

Festigkeitslehre. Von Gewerbeschulrat Oberstudienrat A. Schau. 2. Aufl. Mit 119 Fig. (Vd. 829.)

Einführung in die technische Wärmelehre (Thermodynamik). Von Geh. Bergrat Prof. A. Vater. 3. Auflage bearbeitet von Prof. Dr. J. Schmidt. Mit 46 Abbildungen im Text. (Vd. 516.)

Praktische Thermodynamik. Aufgaben und Beispiele zur technischen Wärmelehre. Von Geh. Bergrat Prof. A. Vater. 2. Aufl. herausg. v. Prof. Dr. Fr. Schmidt. Mit 40 Abb. im Text und auf 3 Tafeln. (Vd. 596.)

Bergbau, Hüttenwesen und mechanische Technologie

Unsere Kohlen. Von Bergassessor Privatdozent Dr. B. Kukut. 3. Aufl. Mit 55 Abb. im Text und auf 3 Tafeln. (Vd. 396.)

*Das Eisenhüttenwesen. Von Geh. Bergrat Prof. Dr. S. Wedding. 7. Aufl. von Diplom-Ing. Bergassessor J. W. Wedding. Mit zahlr. Abb. (Vd. 20.)

Maschinenelemente. Von Geh. Bergrat Prof. A. Vater. 4., erw. Aufl. bearbeitet von Prof. Dr. J. Schmidt. Mit 183 Abb. (Vd. 301.)

Bebränge. Hilfsmittel zum Heben fester, flüssiger und gasförmiger Körper. Von Geh. Bergrat Prof. A. Vater. 3., erw. Aufl. bearb. von Prof. Dr. Fr. Schmidt. Mit 75 Abb. im Text. (Vd. 196.)

Die Fördermittel. Einrichtungen zum Fördern von Massengütern und Einzellasten in industriellen Betrieben. Von Oberingenieur O. Beschlein. Mit 74 Abb. im Text. (Vd. 726.)

*Das Holz, seine Bearbeitung und seine Verwendung. Von Prof. J. Grothmann, Oberinspektor der Lehrwerkstätten für Holzbearbeitung in München. 2. Aufl. Mit Originalabb. im Text. (Vd. 473.)

Die Spinnerei. Von Direktor Prof. M. Lehmann. Mit 35 Abbildungen. (Vd. 398.)

Maschinenlehre.

Die Dampfmaschine. Von Geh. Bergrat Prof. A. Vater. 2 Bde. I. Bd.: Wirkungsweise des Dampfes im Kessel und in der Maschine. 5. Aufl. Von Prof. Dr. J. Schmidt. Mit 38 Abb. II. Bd.: Ihre Gestaltung und ihre Verwendung. 4. Aufl. Von Prof. Dr. J. Schmidt. Mit 94 Abb. (Vd. 393/94.)

Die neueren Wärmekraftmaschinen. Von Geh. Bergrat Prof. A. Vater. 2 Bände. I. Bd.: Einführung in die Theorie und den Bau der Gasmaschinen. 6. Aufl. Von Prof. Dr. J. Schmidt. Mit 45 Abb. (Vd. 21.) II. Bd.: Gaserzeuger, Gashmaschinen, Dampf- u. Gasturbinen. 5. Aufl. bearb. von Prof. Dr. J. Schmidt. Mit 46 Abb. (Vd. 86.)

Wasserkraftausnutzung und Wasserkraftmaschinen. Von Dr.-Ing. S. Eawaczek. Mit 57 Abb. (Vd. 732.)

*Landwirtschaftliche Maschinenkunde. Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. O. Fischer. Mit zahlr. Abbildungen 1. Auflage (Vd. 316.)

Elektrotechnik.

- Grundlagen der Elektrotechnik.** Von Obering. A. Kottb. 3. Aufl. Mit 70 Abb. (Bd. 391.)
Die elektrische Kraftübertragung. Von Ing. P. Köhn. 2. Aufl. Mit 133 Abb. (Bd. 424.)
Drähte und Kabel, ihre Anfertigung und Anwendung in der Elektrotechnik. Von Telegraphendirektor H. Brück. 2. Aufl. Mit 43 Abb. (Bd. 285.)
Die Telegraphen- und Fernsprechtechnik in ihrer Entwicklung. Von Telegraphendirektor H. Brück. 2. Aufl. Mit 65 Abb. (Bd. 235.)
Das Telegraphen- und Fernsprechwesen. 2. Aufl. Von Abteilungsdirektor Otto Sieblist. (Bd. 183.)
Die drahtlose Telegraphie und Telephonie. Ihre Grundlagen und Entwicklung. Von Studentrat Dr. P. Fischer. Mit 48 Abb. m. Text. (Bd. 822.)

Hausbau und Wohnungswesen.

- Der Eisenbetonbau.** Von Dipl.-Ing. E. Haimovici. 2. Aufl. Mit 82 Abbildungen im Text sowie 8 Rechnungsbeispielen. (Bd. 275.)
Wohnungswesen. Von Prof. Dr. A. Eberstadt. Mit 11 Abb. im Text. (Bd. 709.)

Verkehrstechnik.

- Das Eisenbahnwesen.** Von Eisenbahnbau- und Betriebsinspektor a. D. Dr.-Ing. E. Biedermann. 3., verb. Aufl. Mit 62 Abbildungen. (Bd. 144.)
Die Klein- und Straßenbahnen. Von Oberingenieur a. D. Oberlehrer A. Liebmann. Mit 85 Abb. (Bd. 322.)
Nautik. Von Direktor Dr. J. Möller. 2. Aufl. Mit 64 Fig. im Text u. 1 Seekarte. (Bd. 255.)

Graphische und Fein-Industrie.

- *Wie ein Buch entsteht.** Von Reg.-Rat Professor A. W. Unger. 6. Aufl. Mit zahlr. Tafeln und Abbildungen im Text. (Bd. 1002†).
Die Schmucksteine und die Schmuckstein-Industrie. Von Dr. A. Eppeler. Mit 64 Abbildungen. (Bd. 376.)
Die Uhr. Grundlagen und Technik der Zeitmessung. Von Prof. Dr.-Ing. H. Voß. 2., umgearbeitete Auflage. Mit 55 Abbildungen im Text. (Bd. 216.)
Die Rechenmaschinen und das Maschinenrechnen. Von Reg.-Rat Dipl.-Ing. R. Leuz. (2. Aufl. erschien außerhalb der Sammlung.)
Die Schreibmaschine und das Maschinenschreiben. Von Berufsschulleiter H. Scholz. Mit 30 Textfig. (Bd. 694.)

Zeichnen.

- *Der Weg zur Zeichenkunst.** Von Oberstudienrat Dr. E. Weber. 4. Aufl. Mit zahlr. Abb. (Bd. 430.)
Grundzüge der Perspektive nebst Anwendungen. Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. A. Voehle mann. 2. verb. Aufl. Mit 91 Fig. u. 11 Abb. (Bd. 510.)
Geometrisches Zeichnen. Von atab. Zeichenlehrer A. Schudeisth. Mit 172 Abb. im Text und auf 12 Tafeln. (Bd. 568.)
Projektionslehre. Die rechtwinkl. Parallelprojektion und ihre Anwendung auf die Darstellung techn. Gebilde nebst Anhang über die schiefwinkl. Parallelprojektion in kurzer leichtfaßlicher Darstellung für Selbstunterricht und Schulgebrauch. Von atab. Zeichenlehrer A. Schudeisth. 2. Aufl. Mit 165 Fig. im Text. (Bd. 564.)
Maße und Messen. Von Dr. W. Bloß. Mit 34 Abb. (Bd. 385.)

†) Bände ab 1000 erscheinen in erweitertem Umfang.

Die mit * bezeichneten und weitere Bände befinden sich in Vorbereitung.

3292

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

Siebente Auflage

33. bis 36. Tausend

Bearbeitet von

Friedrich Wilhelm Wedding

Bergassessor

Technischem Dezernenten des Vereins für die bergbaulichen Interessen in Essen

Mit 22 Abbildungen



Verlag und Druck von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin 1927

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKOW

~~I 592~~

Akc. Nr.

~~1711~~ 50



I 301681

Alle Rechte, einschließlich des Übersetzungsrechts, vorbehalten

BPK-B-131/2017

Vorwort zur ersten bis siebenten Auflage.

In den ersten drei Auflagen dieses Bandes der bekannten Sammlung hatte mein Vater das Gebiet des Eisenhüttenwesens in Form einer Niederschrift gemeinverständlicher Vorträge dargestellt, die er vor Zuhörern aus den verschiedensten Kreisen, auch solchen mit geringerer Vorbildung, gehalten hatte. Nach seinem Ableben im Jahre 1908 war mir dann vom Verlag die Bearbeitung der folgenden Auflagen übertragen worden. Schon bei der 4. Auflage hielt ich es für zweckmäßig, die jetzige Art der Darstellungsweise zu wählen und das Werk vollständig neu, jedoch im Sinne des Verstorbenen zu schreiben, da die Technik inzwischen weiter fortgeschritten war und das kleine Buch sich in immer größerem Umfange solche Kreise zu erobern begann, deren Vorkenntnisse die Fortlassung der einfachsten Grundlagen des behandelten Wissensgebietes gestatteten. Abgesehen davon konnte auch bei den Lesern, für die der Inhalt ursprünglich in der Hauptsache bestimmt war, infolge der allgemein zu beobachtenden Hebung des naturwissenschaftlichen und technischen Unterrichts, ein höheres Wissen vorausgesetzt werden als in früheren Jahren.

Die günstige Aufnahme, die der neu bearbeiteten 4. und dann weiterhin den jeweilig verbesserten folgenden Auflagen zuteil geworden war, hat mich darin bestärkt, den eingeschlagenen Weg hinsichtlich der Auswahl und Anordnung des Stoffs sowie der Darstellungsweise auch für die vorliegende 7. Auflage im wesentlichen beizubehalten. Fast alle Abschnitte haben dabei aber eine den technischen Fortschritten entsprechende Umgestaltung und Bereicherung des Inhalts erfahren. In dem Abschnitt Statistik haben die neuesten vorliegenden Zahlen Aufnahme gefunden. Die Mehrzahl der bisherigen Abbildungen konnte durch zweckentsprechendere ersetzt werden.

Dem Rahmen und den Zwecken eines Bandes der Sammlung entsprechend mußte sich die Behandlung auf das Wichtigste beschränken. Möge sie dazu beitragen, die Kenntnis des für den Menschen unentbehrlichsten metallischen Stoffs, welcher neben der Kohle wie kein anderer unserer ganzen Zeit ihr Gepräge gibt, auch in weitere Kreise des Volkes zu tragen.

Essen, im Dezember 1926.

F. W. Bedding.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Vorwort zur ersten bis siebenten Auflage	3
I. Die Geschichte des Eisens	7
Urgeschichte und Mittelalter. Neuere Zeit. Die Eisengewinnung von der ältesten Zeit an bis zur Gegenwart. Bedeutung des Eisens in der Gegenwart.	
II. Statistische Angaben	17
Eisenerzförderung in den wichtigsten Ländern. Anteil der verschiedenen Erzsorten und Wirtschaftsgebiete an der gesamten deutschen Eisenerzförderung. Eisenerzvorräte sowie -einfuhr und -ausfuhr Deutschlands. Stein- und Braunkohlenförderung sowie Koks-, Roheisen- und Flußeisenerzeugung der wichtigsten Länder. Anteil der verschiedenen Wirtschaftsgebiete Deutschlands an seiner Roheisen- und Rohstahlerzeugung. Rohstoffverbrauch und Erzeugung der deutschen Hochofen-, Schweizeisen-, Flußstahl- und Walzwerte sowie Eisen-, Temper- und Stahlgießereien.	
III. Das reine Eisenmetall und die Eisenkohlenstofflegierungen	28
Grundstoffe. Reines Eisen. Zusammengesetzte Stoffe. Legierungen. Kristallisation der Eisenkohlenstofflegierungen und technischen Eisensorten. Das Gefüge und seine Untersuchung. Das Zustandschaubild und die Gefügebestandteile der FeC-Legierungen.	
IV. Die Eigenschaften des technisch verwerteten Eisens und ihre Prüfung	40
Abhängigkeit der Eigenschaften vom Gefüge. Einflüsse auf das Gefüge. Festigkeitseigenschaften. Härte. Elektrische Leitfähigkeit. Magnetische Eigenschaften. Säurebeständigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen Rost. Schmelzbarkeit. Schwindung. Lunkerung. Gasblasenbildung. Seigerung. Schmiedbarkeit. Schweißbarkeit. Härtebarkeit.	
V. Einteilung und Benennung des technisch verwertbaren Eisens	50
Frühere Einteilung. Schmiedbares Eisen und Roheisen, weißes und graues Roheisen, Schweizeisen und Flußeisen. Schmiedeseisen und Stahl. Jetzige Einteilung in Stahl und Eisen. Sonstige Bezeichnungen.	
VI. Die Brennstoffe	54
Der Verbrennungsvorgang. Natürliche Brennstoffe: Holz, Torf, Braunkohlen, Steinkohlen, Erdöl, Naturgas. Künstliche Brennstoffe: Preßkohlen, Holzkohle, Koks, Teeröle, Benzole, Benzine, Petroleum, Koksosen-, Hochofen-, Generatorgas. Wärmewirtschaft auf Hüttenwerken	

VII.	Die für die Darstellung des Eisens wichtigsten Rohstoffe . . .	62
	Eisenerze: Magnet-, Rot-, Braun-, Spateisenstein. Sonstige eisenhaltige Rohstoffe. Manganhaltige Eisenerze und Manganerze. Zuschläge. Vorbereitung der eisenhaltigen Rohstoffe für die Verhüttung: Masse und magnetische Aufbereitung, Bricketieren, Agglomerieren, Röstten.	
VIII.	Allgemeines über die Darstellung des technisch verwertbaren Eisens	70
	Reduktion und Oxydation. Hochofenprozeß. Frischverfahren. Desoxydations- und Kohlungsarbeiten.	
IX.	Die Darstellung des Roheisens	72
	Der Schmelzvorgang im allgemeinen. Die Vorbereitung der Luft für den Hochofenprozeß. Winderhitzer. Der Hochofen. Der Hochofenprozeß. Roheisendarstellung im elektrischen Hochofen. Die Erzeugnisse des Hochofens und ihre Verwendung: Roheisen, Schlacke, Hochofen- oder Gichtgas.	
X.	Die Darstellung des schmiedbaren Eisens	92
	1. Das Bessemer- und das Thomasverfahren (Windfrischen). Bessemerbirne. Roheisenmischer. Bessemer-Verfahren, Thomas-Verfahren. Erzeugnisse.	
	2. Das Siemens-Martin-Verfahren (Herdfrischen). Siemens-Martinofen. Schrottroheisenverfahren. Roheisenerzverfahren und Abarten.	
	3. Das Tiegelstahlverfahren.	
	4. Das Elektrostahlverfahren. Der elektrische Strom als Wärmequelle. Héroultofen. Girodofen und andere Lichtbogenöfen. Röchling-Rodenhauser-Ofen.	
XI.	Die Formgebung und die mechanische und thermische Behandlung des Eisens	115
	1. Schmieden, Pressen, Walzen.	
	2. Eisen-, Temper- und Stahlgießerei.	
	Sachverzeichnis	131

Verzeichnis der Abbildungen.

- Abb. 1 (S. 12): Einfacher Puddelofen (Senkrechter Längsschnitt)
Abb. 2 (S. 35): Zustandschaubild der Eisen-Kohlenstofflegierungen (System Eisenkarbid).
Abb. 3 u. 4 (S. 75): Winderhizer (Senkrechter und wagerechter Schnitt).
Abb. 5 (S. 77): Hochofen (Senkrechter Schnitt).
Abb. 6 (S. 80): Hochofen mit Erzbunker und Kibelbegichtung.
Abb. 7 (S. 92): Bessmerbirne (Konverter).
Abb. 8 (S. 94): Roheisen-, Koll- oder Walzenmischer.
Abb. 9 u. 10 (S. 102 u. 103): Kippbarer Siemens-Martin-Ofen (Längsschnitt und Querschnitt).
Abb. 11 (S. 112): Héroultofen.
Abb. 12 u. 13 (S. 113): Röchling-Rodenhauser-Ofen (Senkrechter und wagerechter Schnitt).
Abb. 14 (S. 117): Glatte Walze.
Abb. 15 (S. 117): Kaliber-Dreimalzwerk.
Abb. 16 (S. 118): Walzvorgang beim Dreimalzwerk.
Abb. 17 u. 18 (S. 121): Gießerei-Kuppelofen mit Vorherd (Wagerechter und senkrechter Schnitt).
Abb. 19 bis 21 (S. 124): Kastenformerei mit Modellen.
Abb. 22 (S. 126): Schablonenformerei.
(Die Abbildungen 3, 6, 7, 8, 9, 10 und 11 sind nach Vorlagen der Deutschen Maschinenfabrik A.-G. (Demag) in Duisburg hergestellt.)

I. Die Geschichte des Eisens.

Urgeschichte und Mittelalter. Jahrtausende alte Eisensfunde und bildliche Darstellungen oder Inschriften an Denkmälern längst untergegangener Kulturvölker wie der Ägypter, Assyrer, Phönizier, Griechen und Römer geben Zeugnis davon, daß die Menschen schon in grauester Vorzeit verstanden haben, 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 Taue dienten. In Flachbildwerken aus Grabstätten jener Zeit deuten die mit blaugrauer Farbe angelegten Teile von 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 (bricht) man aus der Erde, und aus den Steinen schmelzet man Erz (Kupfer).“ 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 Art' 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 eingeseffene Urbevölkerung neben Gegenständen aus Stein und Bronze schon eiserne Werkzeuge und Waffen benutzte, wie Funde aus Gräbern jener Zeit beweisen, wurden auch die alten Germanen bald mit der Eisenbereitung vertraut. Stählerne Speere, Schwerter, Messer und Ätze lernten sie meisterhaft schmieden. Es sei hier nur an die Franziska, das fränkische Beil, und den Sachs, das Messer und Schlachtschwert der Sachsen erinnert.

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 Eisenerzkörnern 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 stand ihnen nicht nur das Erz und

gleichzeitig das Holz der Wälder, aus dem sie sich ihre Holzkohlen in Meilern herstellten, zur Verfügung, 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 Rennfeuer in Gruben und Herden, dann auch für die Stücköfen Blasebälge zur künstlichen Erzeugung des Windes zu verwenden, und machte sich so ganz unabhängig vom natürlichen Luftzuge und damit von der Lage auf den Bergen.

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“ durch Wasserräder nach dem Vorbilde der Mühlen 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. Durch den Bau größerer Stücköfen und die dadurch bedingte bessere Wärmeausnutzung gelang es nämlich im Laufe der Zeit neben dem teigigen Schweiß Eisen auch flüssiges „Roheisen“ zu gewinnen, mit dem man zuerst nichts anzufangen wußte, das man dann aber durch Gießen in Formen nutzbringend zu verwerten lernte. 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 entworfener Platten für Zimmeröfen. Auch die Bearbeitung des schmiedbaren Eisens zeitigte 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 Schweißeisen. Das Verfahren nannte man Frischen, das Feuer, in dem das Frischverfahren durchgeführt wurde, Frischfeuer und das hierin erzeugte Schweißeisen Frischeisen, 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 Gehalte 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 Schweißeisens aus Erzen in Rennfeuern und Stücköfen, die sog. Rennarbeit, mehr und mehr ab.

Die Möglichkeit, das Roheisen einerseits zum Gießen, andererseits zur Darstellung von Schweißeisen 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 Hochöfen, allerdings mit unterbrochenem Betrieb, angesehen werden, weshalb die damaligen Ofenleistungen, auch unter Berücksichtigung des geringen Ofeninhalts, im Vergleich zu denjenigen der neuzeitlichen Riesenöfen noch recht gering waren. 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 sehr leistungsfähigen heutigen Hochöfen eine 400- bis 1000 mal so hohe Tageserzeugung aufweisen, nämlich 300 bis 750 t und mehr.

Der im 17. Jahrhundert einsetzende Holzkohlenmangel, der hauptsächlich auf den ständig gesteigerten örtlichen Holzbedarf zurückzuführen war, zwang die Eisenhüttenleute schon damals, sich noch nach einem anderen Brennstoff umzusehen. 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 Holzkohlanderstellung in Meilern unter Luftabschluß zu erhizen. 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 zunächst geeignete Steinkohlen und dann Koks beim Hochofenbetrieb anwendeten, waren die Engländer. Sie hatten hiermit schon um das Jahr 1620 Versuche gemacht, führten die Roheisenerzeugung mit Koks aber erst 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) angestellt; den ersten von vornherein für Koksbetrieb berechneten Hochofen erbaute man noch später, nämlich 1796 in Gleiwitz (Oberschlesien).

Neuere Zeit. 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, 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

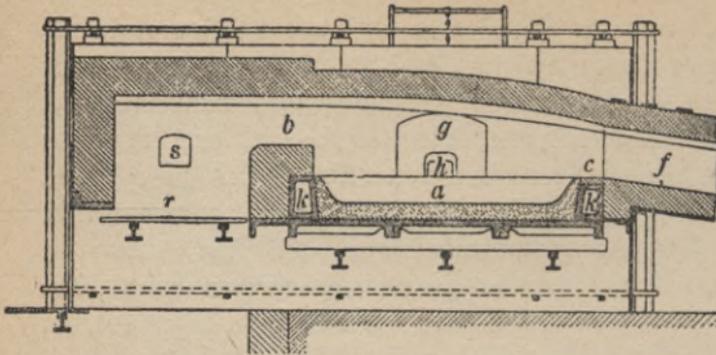


Abb. 1. Einfacher Puddelofen. (Senkrechter Längsschnitt).

durch den Frischfeuerbetrieb. Ein Puddelofen einfacher Bauart (Abb. 1) besteht aus drei Hauptteilen, nämlich aus der Feuerung mit dem Schürloch *s* und dem Kofst *r*, auf dem Steinkoh-

len oder andere Heizstoffe verbrannt werden, dem Arbeitsherd *a* mit der großen Einsatztür *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 Feuerbrücke *c* getrennt. Er ist mit schwer schmelzbaren eisenoxydreichen Schlacken ausgefüttert, 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 Krake, 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 Gase entweichen. Da der Schmelzpunkt des Eisens desto höher steigt, je mehr sein Gehalt an den verschiedenen Elementen abnimmt (S. 35), 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 Renn- und Frischfeuerverfahrens ein schlackehaltiges Schweisseisen. Das zu Klumpen zusammenschweißende Metall wird vom Puddler im Ofen in Form ballenartiger 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 Stäben, den Rohschienen, weiter verarbeitet. Der Verlust an Eisen und Nebenbestandteilen, der sog. Abbrand, schwankt je nach Zusammensetzung des Einsatzes und des Erzeugnisses zwischen 6 und 15% des eingesetzten Roheisengewichts. Etwa 700 bis 1700 kg Steinkohle sind zur Erzeugung von 1 t Luppenstäbe erforderlich. Das Ausbringen beträgt etwa 1,6 bis 4,6 t Schweißeisen oder -stahl. Die bei dem Verfahren entstehende, etwa 50% Eisen, 4% Phosphor und 0,5% Mangan enthaltende Buddelschlacke wird im Hochofen wieder verschmolzen. Das Buddelverfahren wird heute nur noch in geringem Umfange angewendet, 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 Schweißeisen infolge seines Schlackengehaltes nur zur Herstellung einiger weniger Gegenstände den übrigen gegenwärtig erzeugten Eisensorten vorzuziehen ist.

Außer dem Buddelverfahren wurde im 18. Jahrhundert noch eine andere wichtige Erfindung gemacht: die Darstellung des Gußstahls (jetzt Tiegelstahls) durch den Engländer Huntsman. Zum ersten Male war es hierbei gelungen, durch ein hüttenmännisches Verfahren, nämlich durch Umschmelzen von Schweißstahl in Tiegeln schmiedbares Eisen in flüssigem Zustande (Flußeisen, Flußstahl) 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 kohlenstoffarme Schweißeisen 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 (Stahlformguß) zu verwenden, gelang erst um das Jahr 1850 in Bochum.

Es war ein merkwürdiger Zufall, daß zu derselben Zeit, als das Buddelverfahren 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 Waldtälern, sie konnten vielmehr auch in Bergbaubezirke der Ebene ziehen, besonders in solche, in denen Kohlen gewonnen wurden, mit deren Hilfe sie nicht nur ihre Maschinen betreiben, sondern auch ihr Roheisen im Hochofen und ihr schmiedbares Eisen im Buddel- und Tiegelofen darstellen konnten. So war eine neue Zeit für die Eisenhüttenleute herangekommen, die ihnen zum ersten Male die Grundlagen für eine wirklich großzügige Industrie gab. Besonders England kam dieser Umstand wegen des dichten Zusammenliegens seiner Eisenerz- und Kohlenlager zugute, und so ist es auch verständlich, daß die wichtigsten Erfindungen auf dem Gebiete des Eisenhüttenwesens im 18. und 19. Jahrhundert gerade von Engländern gemacht wurden.

Im 19. Jahrhundert verhalfen 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 und schließlich auch die immer weitergehende Ausrüstung der Heere und Flotten mit Eisen- und Stahlkriegsgerät aller Art 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 wich-

tige Erfindungen dem Eisenhüttenwesen sehr zugute. Hierher gehört z. B. der zuerst von dem württembergischen Bergrat Faber du Faur im Jahre 1831 mit Erfolg durchgeführte Versuch, die Hochofengase, die man bis dahin achlos in die Luft entweichen ließ, zur Erhitzung des Gebläsewindes zu verwenden, wodurch die Roheisendarstellung technisch und wirtschaftlich sehr vervollkommnet wurde.

So rückte die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts heran. Immer größer wurde der Verbrauch an Eisen. Hatte man durch das Buddelverfahren und infolge 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 1856 der Engländer Bessmer 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 Buddelofen etwa 4000 kg schmiedbares Eisen zu erzeugen, so gelang es jetzt, in einer Bessmerbirne 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 auch der Tiegelstahl. Es war erklärlich, daß man an das Bessmer-Verfahren nun sehr weitgehende Hoffnungen knüpfte, die allerdings zunächst zum Teil nicht in Erfüllung gingen. Vor allem war es unmöglich, in der Bessmerbirne 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 phosphorfreies, für den Bessmer-Prozeß geeignetes Roheisen erzeugen können, hatte das Verfahren wohl großen Wert; aber zu diesen Ländern zählt Deutschland nicht, denn ein großer Teil seiner Erze ist phosphorhaltig. Bei uns kam daher das Verfahren nur in ganz geringem Umfange zur Anwendung. Man wußte bereits damals, daß die Unmöglichkeit der Entphosphorung besonders an der Art der Ausfütterung der Birne lag, aber erst im Jahre 1878 gelang es den Engländern Thomas und Gilchrist, einen geeigneten Stoff hierfür zu erfinden und das Verfahren so auszubilden, daß die Entfernung des Phosphors möglich wurde.

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 Stahl verarbeiten.

Seit dem Jahre 1865 hat sich auch noch ein anderes Frischverfahren zur Erzeugung von 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 Thomas-Verfahren in verschiedener Hinsicht Vorzüge und ist daher neben diesen beiden für die Massenerzeugung von Stahl von großer Bedeutung geworden. Mit Beginn dieses Jahrhunderts wurde auch der elektrische Strom zur Eisendarstellung herangezogen, und zwar sowohl zur Roheisen- als auch zur Stahlgewinnung. In größerem Umfange wird die elektrische Energie in absehbarer Zeit aber nur in solchen Gegenden dafür verwendet werden, wo sie durch Wasserkräfte verhältnismäßig billig gewonnen werden kann und die Beschaffung von Koks oder Kohle mit besonders hohen Kosten verbunden ist.

Entsprechend dem riesenhaft gestiegenen Bedarf an schmiedbarem Eisen war inzwischen auch die Roheisenerzeugung immer mehr erhöht worden, nicht nur durch Vermehrung der Hochöfen, sondern auch durch ständige Vergrößerung ihres Rauminhalts. Die heutigen Hochöfen sind ohne das sie umgebende Gerüst und die Fördereinrichtungen 20—30 m hoch und haben eine Tageserzeugung bis zu 800 t Roheisen und darüber. Um die den großen Erzeugungsmengen entsprechenden riesigen Rohstoffmassen zu lagern und in die Öfen zu schaffen, mußten die Vorratsbehälter und Lagerplätze sowie die mechanischen Einrichtungen zur Entladung der Rohstoffe aus Eisenbahnwagen und Schiffen sowie zu ihrer Beförderung auf den Hütten und zu den Öfen selbst teils neu geschaffen, teils 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 Vervollkomm-

nung 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 besonders seit Beginn dieses Jahrhunderts auch der physikalischen Chemie, vor allem der jungen metallographischen Wissenschaft, in wertvoller Weise die Hüttenleute. So hat uns denn der kurze Überblick über die Geschichte des Eisens bis in die Gegenwart geführt, die man mit Recht als das eiserne Zeitalter bezeichnet, weil das Eisen wie kein anderer Stoff in Krieg und Frieden der Erde seinen Stempel ausdrückt.

II. Statistische Angaben.

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

Eisenerzförderung in 1000 t.

	1913	1914	1915	1916	1917	1918	1919	1920	1921	1922	1923	1924	1925
Ver. St. v.	62 975	42 105	56 418	76 374	76 497	70 776	61 944	68 690	29 964	47 885	70 465	54 888	62 902
Amerika	28 608	20 505	17 710	21 334	22 465	18 393	6 154	6 362	5 907	5 928	5 118	4 457	5 923
Deutsch. Reich	21 918	11 252	620	1 681	2 035	1 672	9 430	13 871	14 117	20 832	23 428	28 992	35 741
Frankreich	16 254	15 106	14 463	13 711	15 084	14 848	12 451	12 911	3 534	6 946	11 050	11 228	10 306
Großbritannien	9 862	6 820	5 618	5 857	5 551	4 693	4 640	4 768	2 602	2 772	3 456	4 625	3 500
Spanien	10 640	9 717	8 741	8 040	7 180	28	—	160	144	225	500	1 094	—
Rußland	7 476	6 587	6 883	6 986	6 217	6 624	4 981	4 519	6 464	6 201	5 588	6 500	8 169
Schweden	7 333	5 007	6 076	6 958	4 503	3 131	3 112	3 704	3 032	4 489	4 098	5 334	6 672
Luxemburg	3 039	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Österreich	—	1 603	1 860	2 400	1 782	1 173	250	435	711	1 112	1 211	719	1 030
D.-Österreich	2 059	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ungarn	1 349	1 181	911	1 043	985	902	738	1 060	707	941	—	1 815	1 801
Ungar.	603	706	680	947	999	695	613	390	285	311	341	219	472
Italien	314	299	157	85	63	68	47	46	36	49	100	102	95
Griechenland	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Das Deutsche Reich stand also vor und in dem Kriege unter allen Eisenerzfördernden Ländern der Erde an zweiter, in Europa an erster Stelle, selbst wenn man die Förderung des damals zum deutschen Zollgebiet zählenden Großherzogtums Luxemburg mit 7 333 000 t im Jahr 1913 unberücksichtigt läßt. Im Jahr 1925 betrug die deutsche Eisenerzförderung dagegen nur den fünften Teil derjenigen des deutschen Zollgebiets im Jahre 1913.

Von den im ganzen deutschen Zollgebiet im Jahre 1913 geförderten Eisenerzen stammten aus

	t	% der Gesamt- förderung des Zollgebietes	% der Gesamt- förderung des Deutsch. Reichs
Deutsch-Lothringen	21 135 554	58,8	73,9
dem übrigen Deutschland	7 472 359	20,8	26,1
Luxemburg	7 333 372	20,4	—
	35 941 285	100	100

In Deutsch-Lothringen wurde also vor dem Kriege fast dreimal und in diesem und Luxemburg zusammen nahezu viermal so viel Eisenerz gefördert wie im ganzen übrigen Deutschland. Wir haben demnach durch die Abtretung Lothringens an Frankreich nach dem Kriege 73,9% unserer Erzgrundlage eingebüßt, im deutschen Zollgebiet sogar $58,8 + 20,4 = 79,2\%$ und sind dementsprechend in der Reihe der Eisenerz fördernden Länder von der zweiten an die sechste Stelle gerückt.

Die Eisenerzvorräte Deutschlands, die insgesamt auf rund 3 900 Mill. t geschätzt werden, sind durch die Abtretung Lothringens um rund 2 300 Mill. und durch den Austritt Luxemburgs aus dem Zollbund um weitere 270 Mill. t vermindert worden.

Die Zahl der im Jahre 1913 innerhalb der alten Reichsgrenzen gelegenen Eisenerz fördernden Werke belief sich auf 328 mit 42 300 Arbeitern, wozu noch Luxemburg mit 84 Werken und 5 800 Arbeitern kam, während im Jahre 1925 in 231 Betrieben nur 17 887 Mann beschäftigt waren.

Mit welchen Förderziffern die wichtigsten Eisenerzbezirke des Deutschen Reiches vor und nach dem Kriege an der Gesamtförderung beteiligt waren, zeigt die nachfolgende Zusammenstellung:¹⁾

1) Nach der Zeitschrift „Stahl und Eisen“, soweit es sich um Lothringen handelt, für die übrigen Bezirke aus den Vierteljahrsheften zur Statistik des Deutschen Reiches.

Wirtschaftsgebiete	Menge einschl. des natürlichen Rässegehaltes			
	1913	1923	1924	1925
Lothringischer Minettebezirk.	21 136 265	10 779 125	12 480 707	15 456 515
Siegerland-Wiedaer-Spat-eisenerzbezirk u. Bergischer Kalkbezirk	2 729 341	1 488 638	1 602 498	2 063 612
Rassauisch-Oberhessischer (Lahn- u. Dill-) Bezirk . .	1 102 503	648 561	398 990	633 526
Subherzynischer Bezirk (Peine, Salzgitter)	921 205	1 300 835	1 313 428	1 628 644
Vogelsberger Basalteisenerzbezirk	691 598	639 651	222 394	546 324
Bayerischer u. Württemberg-Badischer Bezirk	498 904	476 742	382 817	529 779
Taunus-Bezirk u. Lindener Mark	373 509	95 107	144 350	221 273
Thüringisch-Sächs. Bezirk .	280 186	130 497	109 622	64 633
Harzer Bezirk	260 187	230 919	191 220	154 505

Der Anteil der verschiedenen Erzarten an der Gesamtförderung des Deutschen Reiches in den Jahren 1913 und 1923—1925 geht aus der folgenden Übersicht hervor (vgl. die Fußnote auf voriger Seite):

Erzarten	Menge einschl. des natürlichen Rässegehaltes				Durchschnittl. Eisen gehalt nach Abzug des natürl. Rässegehaltes			
	1913	1923	1924	1925	1913	1923	1924	1925
	t	t	t	t	%	%	%	%
Minette	21 136 265	10 779 125 ¹⁾	12 480 707 ¹⁾	15 456 515 ¹⁾	31,66	.	.	.
Brauneisenstein mit weniger als 12% Mangan	3 005 970	2 779 444	2 257 224	3 107 760	34,14	34,42	36,24	34,81
Brauneisenstein mit 12—30% Mangan	330 037	93 624	168 758	180 213	22,86	23,46	24,23	24,55
Manganerze mit mehr als 30% Mangan	760	10 245	3 554	144
Rotenstein	1 102 067	555 888	350 297	526 227	42,73	38,52	39,30	40,38
Spateisenstein	2 860 811	1 412 749	1 483 710	1 913 898	33,54	33,04	33,49	33,74
Magneteisenstein	31 587	50 406	43 992	39 957	48,35	45,79	44,41	49,15
Ton- und Kohleisenstein . .	57 827	14 779	14 219	6 668	33,48	31,33	35,05	33,53
Klußeisenstein	42 167	113 260	71 183	86 928	33,27	32,19	29,78	32,12
Rafeneisenerz	36 346	615	436	621	34,11	41,56	41,85	44,36
Anderer Erze	4 066	86 966	63 728	60 627	26,31	37,35	34,15	31,78
Zusammen Deutsches Reich .	28 607 902	5 117 976 ²⁾	4 457 101 ²⁾	5 923 043 ²⁾	32,49	34,35	35,05	34,73

1) Nicht in der Summe enthalten.

2) Ohne Lothringische Minette.

Waren die 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. Wir waren daher gezwungen, weitere erhebliche Mengen einzuführen. Nach dem Kriege ist Deutschland infolge der Abtretung von Lothringen mit seinem hohen Förderanteil naturgemäß erst recht auf die Einfuhr von Eisenerz weiter angewiesen, wenn die Eisenerzeugung auch erheblich zurückgegangen ist und in absehbarer Zeit ihre frühere Höhe nicht wieder erreichen wird. In den Jahren 1913 und 1922 bis 1925 hat das Reich folgende Mengen eingeführt:

Eisenerzeinfuhr Deutschlands 1913 und 1922—1925.

aus	1913		1922		1923		1924		1925	
	1000 t	%	1000 t	%	1000 t	%	1000 t	%	1000 t	%
Schweden	4564	32,54	5508	50,0	1254	52,76	2049	66,61	7402	64,14
Spanien	3632	25,90	1339	12,1	337	14,18	335	10,89	1388	12,03
Frankreich	3811	27,17	2069	18,7	131	5,51	167	5,43	666	5,77
Luzemburg	—	—	766	7,0	50	2,10	30	0,98	355	3,08
andere Länder	2017	14,38	1342	12,2	605	25,45	495	16,09	1729	14,98
Zusammen	14024	100,00	11024	100,0	2377	100,00	3076	100,00	11540	100,00

Danach ist die Einfuhr an Eisenerz im Jahre 1925 gegen 1913 zwar um etwa 18% zurückgegangen; im Verhältnis zur Förderung innerhalb der jetzigen Grenzen des Reichsgebiets ist sie dagegen erschreckend hochgestiegen. Während sie 1913 noch nicht ganz 50% der Eisenerzförderung des Deutschen Reichs betrug, belief sie sich 1925 annähernd auf 195%. Bemerkenswert hierbei ist, daß die Einfuhr aus Frankreich um 82,52% zurückgegangen ist, während die schwedische Einfuhr um 62,18% zugenommen hat.

Die Ausfuhr Deutschlands an Eisenerz betrug 1922 nur 173 000 t, 1924 nur 129 000 t und 1925 202 000 t gegenüber rund 2,6 Mill. t im Jahre 1913.

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

	1. Erzmenge t	2. % der Versorg.	3. Eisen- gehalt in %	4. Gesamt- eisengehalt t	5. % der Versorg.
Gesamteinfuhr	14 024 318	29,62	53,13	7 450 713	41,00
Förderung des Zollgebiets	35 941 285	75,90	32,17	11 562 311	63,63
Vorhandene Menge	49 965 603	105,52	38,05	19 013 024	104,63
Ausfuhr	2 613 158	2,52	32,17	840 653	4,63
Versorgung	47 352 445	100,00	38,38	18 172 371	100,00

Aus Spalte 3 kann man auch ersehen, daß der Durchschnittseisen-
gehalt der eingeführten Erze beträchtlich höher war als derjenige der
im Inland geförderten, so daß der Gesamteiseninhalt der ersteren
etwa zwei Fünftel desjenigen der Versorgung ausmachte (vgl. Spalte 5).

Über die Höhe der Steinkohlenförderung, Kokserzeugung und Braun-
kohलगewinnung in den Ländern mit den höchsten Erzeugungsziffern
geben die Übersichten auf S. 22 u. 23 Aufschluß.

Deutschlands Roheisenerzeugung betrug danach von der Gesamt-
erzeugung der fünf wichtigsten eisenerzeugenden Länder im letzten
Friedensjahr 1913 rund 28%, im Jahre 1925 dagegen nur noch 16%.
1923 war die Beteiligung unter dem Einfluß der Ruhrbesetzung sogar
auf 8% heruntergegangen. Der erschreckende Rückgang ist in erster Linie
wiederum auf die schwerwiegenden Gebietsverluste im Westen und Osten
des Reiches zurückzuführen. Es wurden im Jahre 1913 erzeugt in

	Roheisen	Rohstahl
Elfaß-Lothringen	3 863 524 t	2 286 354 t
Luxemburg	2 547 861 t	1 336 263 t
Saargebiet	1 370 980 t	2 073 000 t
Ostoberschlesien	613 000 t	1 010 000 t
In den verlorenen Gebieten zus. . .	8 395 365 t	6 705 617 t
Im früheren Reichsgebiet zus. . .	19 309 172 t	18 935 089 t
Im jetzigen Reichsgebiet also . . .	10 913 807 t	12 229 472 t

Vergleicht man hiermit die Roheisen- und Rohstahlerzeugung des
jetzigen Reichsgebiets aus dem Jahre 1925 mit 10,18 Millionen t
Roheisen bzw. 12,19 Millionen t Rohstahl, so ergibt sich eine Minder-

	1913	1914	1915	1916	1917	1918	1919	1920	1921	1922	1923	1924	1925
Steinlohlenförderung (in 1000 t)													
Ver. Staat v. Amerika	517 142	465 865	452 280	525 331	590 946	615 267	502 540	597 171	459 397	417 000	596 474	518 562	530 880
Großbritannien	292 043	269 928	237 270	260 490	252 487	231 404	233 468	233 216	165 871	235 892	280 430	271 405	250 630
Deutsches Reich	190 109	161 385	146 868	159 170	167 747	160 604 ¹⁾	116 707 ²⁾	131 341 ³⁾	136 210	140 965 ⁴⁾	62 225	118 785	132 729
Frankreich	40 129	26 841	18 856	20 542	27 757	24 941	21 567	24 393	28 213	31 141	37 679	44 011	47 046
Rußland	35 823	35 730	31 439	34 333	31 500	12 200	8 300	7 589	8 704	9 614	11 952	14 578	17 112
Belgien	22 842	16 714	14 177	16 863	14 931	13 891	18 483	22 389	21 804	21 234	22 916	23 360	23 133
Japan	21 700	22 253	20 447	20 100	26 500	29 000	31 300	29 200	26 221	27 702	28 949	29 100	25 768
Fischschifffahrt	—	—	—	—	—	—	10 384	11 143	11 618	9 906	11 625	14 359	12 550
Folien	—	—	—	—	—	—	6 413	7 582	23 947	36 132	32 229	32 255	29 080
Österreich	16 460	15 546	16 290	17 696	16 729	13 000 ⁵⁾	90	133	138	166	158	172	144
Brit. Indien	16 468	16 728	17 379	17 531	18 500	21 100	21 800	18 261	19 316	19 975	19 975	15 161	20 185
Ranada	18 617	12 372	12 036	13 139	12 743	13 589	12 411	15 374	13 660	13 751	15 414	12 353	11 813
Australien	15 000	15 000	13 800	12 300	12 300	13 200	12 300	13 267	13 084	12 498	13 034	14 179	—
Spanien	4 036	4 133	4 359	5 116	5 367	6 512	5 704	5 421	5 012	4 436	5 971	6 128	5 865
Niederlande	1 873	1 929	2 262	2 586	3 008	3 340	3 402	3 941	3 921	4 570	5 282	5 882	6 848
Saarbezirk	—	—	—	—	—	—	9 410	9 410	—	11 240	9 192	14 032	12 990
Holzgewinnung (in 1000 t)													
Ver. Staat v. Amerika	42 002	31 349	37 722	49 472	50 446	51 237	40 080	46 580	22 941	33 579	51 689	40 161	9 689 ⁶⁾
Großbritannien	20 961	19 275	20 381	21 732	22 348	21 404	19 878	21 255	11 557	20 217	25 327	25 230	23 204
Deutsches Reich	34 630	28 597	27 217	34 202	34 712 ¹⁾	34 472 ²⁾	22 710 ²⁾	25 177 ³⁾	27 921	29 664	12 703	23 720	26 810
Frankreich	4 027	2 275	834	1 412	1 534	704	—	1 761	1 861	2 362	4 287	2 638	3 065
Rußland	4 437	4 552	4 174	4 423	3 723	704	49	10	104	112	262	462	—
Belgien	3 523	2 002	515	792	676	522	757	1 835	1 403	2 850	4 180	4 157	4 108
Fischschifffahrt	—	—	—	—	—	—	1 393	1 431	1 138	639	1 475	2 219	1 978
Österreich	2 562	2 200	1 942	2 591	2 618	2 000	—	—	—	—	—	—	—
Ranada	1 388	929	1 062	1 333	1 130	1 135	1 033	1 185	918	635	1 038	1 243	1 495
Spanien	5 966	5 971	6 231	760	543	630	430	281	446	383	744	848	—
Italien	4 98	453	449	516	444	371	303	96	34	168	275	310	1 512
Australien	303	310	424	445	436	619	432	577	602	244	590	573	—
Braunlohlenförderung (in 1000 t)													
Deutsches Reich	87 233	83 694	87 948	94 180	95 543	100 599	93 648	111 880	123 011	137 178	118 785	124 687	139 790
Fischschifffahrt	—	—	—	—	—	—	17 110	19 696	21 051	18 942	16 213	20 507	18 041
Österreich	27 378	23 581	22 064	23 260	21 626	18 000	2 007	2 409	2 479	3 110	2 659	2 777	3 059
Frankreich	793	687	677	768	1 158	1 318	910	901	745	778	861	944	987
Italien	701	781	782	1 283	1 657	2 171	1 239	1 572	1 036	745	954	917	1 105
Spanien	277	291	328	473	638	726	540	552	409	380	394	412	386

1) Einischl. Eisaß-Lothringen bis Ende Oktober 1918. 2) Von 1919 ab ohne Eisaß-Lothringen. 3) Von 1920 ab ohne Eisaß-Lothringen und Saargebiet. 4) Von Juni 1922 ab ohne poln. Oberschlesien. 5) Gekürzt. 6) Nur Gewinnung auf Bechminenlohlen.

	1913	1914	1915	1916	1917	1918	1919	1920	1921	1922	1923	1924	1925
Roheisenerzeugung (in 1000 t)													
Ver. Staat. v. Amerika	31 462	23 706	30 395	40 066	39 341	39 681	31 513	37 519	16 956	27 657	41 009	31 910	36 988
Deutsches Reich	16 764	12 581	10 155	14 342	11 622	9 208 ¹⁾	5 654 ²⁾	6 388	7 855	9 195	4 936	7 812	10 177
Großbritannien	10 425	9 067	8 934	9 193	9 572	9 217	7 536 ¹⁾	8 164	2 658	4 931	7 560	7 425	6 336
Frankreich	5 207	2 736	586	1 311	1 408	1 293	2 412	3 434	3 417	5 139	5 300	7 693	8 472
Rußland	4 635	4 257	3 690	3 738	3 000	—	—	115	114	186	382	754	—
Norwegen	2 548	1 827	1 591	1 549	1 549	1 267	617	693	970	1 686	1 407	2 157	2 344
Belgien	2 485	1 454	68	130	8	—	281	1 116	872	1 613	2 148	2 808	2 541
Österreich	2 381	1 988	1 959	—	—	—	62	100	226	340	344	267	380
Tschechoslowakei	—	—	—	—	—	—	—	710	544	345	750	1 050	1 000
Kanada	1 031	717	839	1 087	1 103	1 124	876	1 015	626	408	923	629	606
Schweden	730	646	761	733	829	762	494	471	314	264	283	513	432
Italien	427	383	378	467	471	314	240	88	61	158	236	304	482
Spanien	425	382	440	498	358	387	294	251	347	210	400	497	—
Japan	—	—	—	—	—	—	—	711	664	472	304	—	—
China	—	—	—	—	—	—	—	—	610	508	—	380	—
Rohstahlerzeugung (in 1000 t)													
Ver. Staat. v. Amerika	31 802	23 889	32 665	48 458	45 782	45 174	35 226	42 809	20 101	36 174	45 665	38 541	44 896
Deutsches Reich	17 147	13 710	12 010	14 240	14 322	11 830 ¹⁾	6 877 ²⁾	8 363	9 943	11 209	6 305	9 835	12 198
Großbritannien	7 786	7 960	8 687	9 343	9 361	9 745	8 021	9 213	3 763	5 975	8 618	8 333	7 516
Frankreich	4 687	2 802	1 116	1 788	1 922	1 800	2 184	2 706	3 099	4 538	5 302	6 900	7 415
Rußland	4 249	4 733	4 900	4 850	—	—	—	162	316	857	722	1 144	—
Norwegen	1 324	1 136	980	1 312	1 083	888	371	570	754	1 394	1 201	1 886	2 084
Belgien	2 467	1 396	99	99	12	11	334	1 253	764	1 565	2 297	2 861	2 411
Österreich	2 683	2 191	2 686	3 337	2 921	1 764	1 115	126	294	437	499	370	464
Tschechoslowakei	—	—	—	—	—	—	786	973	918	640	1 000	1 350	—
Kanada	1 059	755	927	1 307	1 587	1 722	943	1 128	680	488	899	661	765
Schweden	591	507	600	614	581	545	491	437	206	305	371	496	470
Italien	934	932	1 009	1 272	1 332	996	733	774	700	983	1 142	1 359	1 386
Spanien	242	382	387	323	470	303	241	—	360	231	463	540	—
Japan	230	—	—	—	—	—	—	564	588	616	508	559	—
China	—	—	—	—	—	—	—	—	152	122	150	—	—

1) Von 1918 ab ohne Estland-Lithueningen. 2) Von 1919 ab durch ohne Seargebiet.

erzeugung von rund 737 000 t oder 6,75 % Roheisen und 36 000 t oder 0,30 % Stahl. Man erzieht daraus, daß nicht allein die Gebietsabtretungen dem Deutschen Reiche große Verluste in der Roheisen- und Rohstahlerzeugung gebracht haben, sondern daß auch die Erzeugung innerhalb des jetzigen Reichsgebiets stark zurückgegangen ist. Dies ist zum Teil auf die schwierigere Rohstoffbeschaffung zurückzuführen, in der Hauptsache aber auf die durch die traurigen außen- und innenpolitischen Verhältnisse hervorgerufenen stark beschränkten Absatzmöglichkeiten.

Die Anteile, welche die verschiedenen Wirtschaftsgebiete Deutschlands an der Gesamtroheisen- und Stahlerzeugung des Reiches vor und nach dem Kriege hatten, ergeben sich aus der folgenden Zusammenstellung:

	Roheisen					Rohstahl				
	1913	1922	1923	1924	1925	1913	1922	1923	1924	1925
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Rheinland-Westfalen	42,51	75,87	59,03	80,02	78,61	53,40	78,57	62,46	82,10	81,35
(ohne Saargebiet u. Siegerland)	33,24	—	—	—	—	19,13	—	—	—	—
Lothringen u. Luxemburg	7,10	—	—	—	—	10,98	—	—	—	—
Saargebiet	5,15	5,29	7,40	3,10	2,84	7,43	6,68	6,21	2,74	3,01
Schlesien	5,19	9,33	19,03	10,25	10,32	3,91	7,48	16,29	8,47	8,08
Mittel-, Nord- u. Ostdeutschland	5,15	7,29	10,49	4,70	5,71	2,05	2,44	5,18	1,85	2,34
Siegerland, Lahn- u. Dillgebiet	1,66	2,22	4,05	1,93	2,52	3,09	4,81	9,86	4,84	1,77
u. Oberhessen										
Bayern, Württemberg u. Thürig.										

Über die Hochofenbetriebe des Deutschen Reiches, ihren Rohstoffverbrauch sowie die Menge ihrer Erzeugnisse geben die folgenden Übersichten Aufschluß:

Hochofenwerke ¹⁾

	Früheres	Jetziges Reichsgebiet				
	1913	1913	1922	1923	1924	1925
Zahl der Betriebe	93	70	63	63	55	—
Zahl der beschäftigten Personen ²⁾	41 908	—	36 979	33 463	24 371	—
Hochofen am Jahresfluß	330	216	209	209	193	211
Hochofen in Betrieb	313	204	158	152	138	107
Gesamtbetriebsdauer d. Hochof. (Wochen)	15 130	9 687	7 008	4 730	4 733	—

1) Die Zahlen dieser und der folgenden Zusammenstellungen sind bis 1924 den Vierteljahrsheften zur Statistik des Deutschen Reiches entnommen. Da die Zahlen für das Jahr 1925 in dieser amtlichen Statistik bei der Drucklegung noch nicht veröffentlicht waren, konnten die Angaben für diese Zeit nur unvollständig gemacht werden. Sie sind den statistischen Zusammenstellungen des Vereins deutscher Eisen- und Stahlindustrieller entnommen.

2) Berufsgenossenschaftlich versicherte Personen. Dies gilt auch für die übrigen Übersichten.

	Früheres	Jetziges Reichsgebiet			
	1913	1913	1922	1923	1924
Eisen- u. Eisenmangan- erze	37 833,6	} 27 314,3	15 156,8	7 962,5	12 265,5
Manganerze mit über 30% Mangan	700,8		327,0	160,6	224,6
Kiesabbrände, Rück- stände usw.	1 523,9		1 085,5	617,3	705,0
Bruch Eisen (ausschl. der Hochofenbetriebe) . . .	208,1		959,7	516,4	722,1
Schlacken, Sinter aller Art	3 896,3		2 065,6	1 004,2	1 427,1
Zuschläge (Kalkstein, Phosphatkalk usw.) . .	3 437,7	} 12 121,0	2 706,7	1 695,8	1 954,3
Koks	19 114,7		10 750,9	6 096,4	8 446,6
Holzkohlen	9,0		3,9	2,8	2,2

Erzeugung in 1000 t.

	Früheres	Jetziges Reichsgebiet				
	1913	1913	1922	1923	1924	1925
Gießereiroh Eisen	3 374,8	2 610,1	1 753,0	1 017,6	1 267,6	2 154,9
Gußwaren I. Schmelzung	104,5	7,0	39,2	47,4	34,0	—
Bessemerroheisen	375,4	372,3	85,1	21,1	46,5	36,6
Thomasroheisen	9 867,6	5 203,7	4 643,5	2 313,9	4 423,7	5 940,3
Stahl-, Spiegeleisen usw.	2 550,7	2 343,5	2 501,9	1 477,2	2 048,9	2 020,2
Puddelroheisen (ohne Spiegeleisen)	463,9	377,3	171,3	58,4	11,6	} 24,8
Bruch- und Wascheisen . .	26,9	1,8	0,5	4,8	0,3	
Verwertbare Schlacke . .	1 876,3	—	1 172,3	870,5	1 038,9	—

Die entsprechenden statistischen Angaben für die deutschen Schweiß-
eisen-, Flußstahl- und Walzwerke sowie Eisen- und Stahlgießereien
finden in den nächsten Übersichten enthalten.

Über den Außenhandel Deutschlands in Eisen und Stahl vor und
nach dem Kriege gibt die Übersicht auf S. 28 Aufschluß.

	Sechziges Reichsgebiet				Sechziges Reichsgebiet			
	1913	1922	1923	1924	1913	1922	1923	1924
Zahl b. Betriebe	174	158	158	162				
Zahl b. beschäftigten Personen	128 785	132 688	118 609	90 850				
	Roheisenverbrauch in 1000 t				Erzeugung in 1000 t			
Rohbleche	16 264,2	10 698,7	6 065,4	9 305,2				
Flüßchen und -schalen	3 051,0	2 062,3	1 131,8	1 848,2				
Schweißblech und -halbzug	188,4	88,2	48,8	59,1				
Abfallergüsse (enden usw.)	76,0	32,8	20,8	17,3				
	Halbzug für den Absatz				Halbzug für den Absatz			
	—				—			
	14 208,0				2 958,4			
					2 123,2			
					1 188,0			
					586,9			
					2 836,8			
					335,4			
					191,8			
					440,2			
					914,0			
					1 072,9			
					908,1			
					489,2			
					734,8			
					883,0			
					659,1			
					873,8			
					554,7			
					618,7			
					896,2			
					71,1			
					39,3			
					84,8			
					91,0			
					70,6			
					563,8			
					476,7			
					190,0			
					435,6			
					636,8			
					372,2			
					347,3			
					326,5			
					175,3			
					196,2			
					119,4			
					212,1			
					204,6			
					187,1			
					190,6			
					435,6			
					183,0			
					265,4			
					254,8			
					109,0			
					60,4			
					72,4			
					59,1			
					908,1			
					489,2			
					734,8			
					883,0			
					659,1			
					873,8			
					554,7			
					618,7			
					896,2			
					71,1			
					39,3			
					84,8			
					91,0			
					70,6			
					563,8			
					476,7			
					190,0			
					435,6			
					636,8			
					372,2			
					347,3			
					326,5			
					175,3			
					196,2			
					119,4			
					212,1			
					204,6			
					187,1			
					190,6			
					435,6			
					183,0			
					265,4			
					254,8			
					109,0			
					60,4			
					72,4			
					59,1			
					908,1			
					489,2			
					734,8			
					883,0			
					659,1			
					873,8			
					554,7			
					618,7			
					896,2			
					71,1			
					39,3			
					84,8			
					91,0			
					70,6			
					563,8			
					476,7			
					190,0			
					435,6			
					636,8			
					372,2			
					347,3			
					326,5			
					175,3			
					196,2			
					119,4			
					212,1			
					204,6			
					187,1			
					190,6			
					435,6			
					183,0			
					265,4			
					254,8			
					109,0			
					60,4			
					72,4			
					59,1			
					908,1			
					489,2			
					734,8			
					883,0			
					659,1			
					873,8			
					554,7			
					618,7			
					896,2			
					71,1			
					39,3			
					84,8			
					91,0			
					70,6			
					563,8			
					476,7			
					190,0			
					435,6			
					636,8			
					372,2			
					347,3			
					326,5			
					175,3			
					196,2			
					119,4			
					212,1			
					204,6			
					187,1			
					190,6			
					435,6			
					183,0			
					265,4			
					254,8			
					109,0			
					60,4			
					72,4			
					59,1			
					908,1			
					489,2			
					734,8			
					883,0			
					659,1			
					873,8			
					554,7			
					618,7			
					896,2			
					71,1			
					39,3			
					84,8			
					91,0			
					70,6			
					563,8			
					476,7			
					190,0			
					435,6			
					636,8			
					372,2			
					347,3			
					326,5			
					175,3			
					196,2			
					119,4			
					212,1			
					204,6			
					187,1			
					190,6			
					435,6			
					183,0			
					265,4			
					254,8			
					109,0			
					60,4			
					72,4			
					59,1			
					908,1			
					489,2			
					734,8			
					883,0			
					659,1			
					873,8			
					554,7			
					618,7			
					896,2			
					71,1			
					39,3			
					84,8			
					91,0			
					70,6			
					563,8			
					476,7			
					190,0			
					435,6			
					636,8			
					372,2			
					347,3			
					326,5			
					175,3			
					196,2			
					119,4			
					212,1			
					204,6			
					187,1			
					190,6			
					435,6			
					183,0			
					265,4			
					254,8			
					109,0			
					60,4			
					72,4			
					59,1			
					908,1			
					489,2			
					734,8			
					883,0			
					659,1			
					873,8			
					554,7			
					618,7			
					896,2			
					71,1			
					39,3			
					84,8			
					91,0			
					70,6			
					563,8			
					476,7			
					190,0			
					435,6			
					636,8			
					372,2			
					347,3			
					326,5			
					175,3			
					196,2			
					119,4			
					212,1			
					204,6			
					187,1			
					190,6			
					435,6			
					183,0			
					265,4			
					254,8			
					109,0			
					60,4			
					72,4			
					59,1			
					908,1			
					489,2			
					734,8			
					883,0			
					659,1			
					873,8			
					554,7			
					618,7			
					896,2			
					71,1			
					39,3			
					84,8			
					91,0			
					70,6			
					563,8			
					476,7			
					190,0			
					435,6			
					636,8			
					372,2			
					347,3			
					326,5			
					175,3			
					196,2			
					119,4			
					212,1			
					204,6			
					187,1			
					190,6			
					435,6			
					183,0			
					265,4			
					254,8			
					109,0			
					60,4			
					72,4			
					59,1			
					908,1			
					489,2			
					734,8			
					883,0			
					659,1			
					873,8			
					554,7			
					618,7			
					896,2			
					71,1			
					39,3			
					84,8			
					91,0			
					70,6			
					563,8			
					476,7			
					190,0			
					435,6			
					636,8			
					372,2			
					347,3			
					326,5			
					175,3			
					196,2			
					119,4			
					212,1			
					204,6			
					187,1			
					190,6			
					435,6			
					183,0			
					265,4			
					254,8			
					109,0			

	Seitiges Reichsgebiet				Früheres		Seitiges Reichsgebiet				
	1913	1918	1922	1923	1924	1913	1918	1922	1923	1924	1925
Eisen- (Puddel-) Werke.											
Zahl der Betriebe	31	25	14	14	13						
Zahl der beschäftigten Personen	2698	1302	903	903	697	Rohstoffen	222,7	36,7	19,2	19,3	
Betriebsvorrichtungen am Jahresanfang:						Schrott	19,2	40,0	32,6	39,6	
Puddelöfen	276	92	92	92	85	Zuschläge	6,0	1,5	1,0	0,8	
Schweißöfen	42	13	31	31	27	(Eisenwerkst.)					
Zementieröfen, Raffinerie- u. Schmelzöfen	8	242	—	—	—	Erzeugung in 1000 t					
						Schweißöfen	212,2	64,8	46,4	47,9	
						Raffinerie- u. Zementierstahl	1,0	0,2	0,1	0,2	
						Verwerth. Schlacken	48,4	149,2	17,7	13,2	
Flußstahlwerke.											
Zahl der Betriebe	106	85	101	103	103						
Zahl der beschäftigten Personen	42118	50964	47385	47385	32590	Rohstoffen	13327,2	7159,7	3788,9	6371,6	
Betriebsvorrichtungen am Jahresanfang:						Schrott	5578,9	5285,4	3130,9	4278,1	
Thomasöfen	697	563	647	660	674	Eisenerze	297,0	149,0	78,7	146,1	
Bessemeröfen	109	59	17	12	11	Zuschläge	1776,8	14227,2	146,1	992,2	
Thomasöfen, basisch	13	17	431	431	431	Erzeugung in 1000 t					
Martinöfen, sauer	50	28	31	31	35	Thomasöfen, aus Thoma-	9226,0	4093,8	1982,6	3990,1	5110,6
Ziegelöfen	116	76	81	81	91	Bessemeröfen	146,8	47,0	6,6	27,0	22,4
Elektrotafeln	27	45	45	45	46	Martinöfen, basisch	7124,0	6574,8	3952,2	5329,9	6475,2
						Martinöfen, sauer	298,9	139,8	68,9	13,0	149,3
						Ziegelöfen	79,7	77,2	35,6	13,6	12,1
						Elektrotafeln	72,4	107,9	59,0	76,7	115,8
						Stahlformguß	204,6	182,9	122,9	184,2	308,9
						Schladen f. Thomas-	2279,9	1178,9	526,5	1065,0	
						andere Schlacken	1002,0	908,2	454,3	682,8	

	1913	1922	1924	1925
Einfuhrmengen gesamt t	618291	2500417	1324011	1448577
Einfuhrwert ges. 1000 <i>R.M.</i>	104117	151374	227779	210961
„ je Tonne <i>R.M.</i>	168	61	172	146
Ausfuhrmenge gesamt t	6497262	2654677	1951099	3548773
Ausfuhrwert ges. 1000 <i>R.M.</i>	1339255	601686	792366	1230103
„ je Tonne <i>R.M.</i>	206	227	406	347
Ausfuhrüberschuß Menge t	5878971	154260	627088	2100196
„ Wert 1000 <i>R.M.</i>	1235138	450312	564587	1019142

Auch an dem Zurückgehen der Ausfuhrüberschußmenge und ihres Wertes gegen die Vorkriegszeit ist zu erkennen, in welcher trostloser Lage sich unsere Eisenwirtschaft gegenwärtig befindet. Die gesamte deutsche Ausfuhr und mit ihr diejenige der Fertigerzeugnisse der Eisenindustrie wieder wesentlich zu heben und zugleich auch den Inlandabsatz wieder zu steigern, ist die wichtigste Zukunftsaufgabe der deutschen Volkswirtschaft.

III. Das reine Eisenmetall und die Eisenkohlenstofflegierungen.

Grundstoffe. Alle uns umgebenden natürlichen und künstlichen Stoffe bestehen aus Grundstoffen oder chemischen Elementen. Durch neuere Forschungsergebnisse ist die Wissenschaft zu der Erkenntnis gekommen, daß die kleinsten Teilchen dieser Elemente, die Atome, wunderbar aufgebaute winzige Welten sind, die im wesentlichen aus einem von einer Hülle umgebenen Kern bestehen. Während der Kern ein einfach, zweifach oder vielfach positiv geladenes Elektron, d. h. ein kleinstes Stoffteilchen der Elektrizität ist, wird die Hülle von einer der Ladungszahl entsprechend großen Anzahl auf Kreisen oder Schalen in bestimmten Abständen angeordneter negativ geladener Elektronen gebildet, die wie die Planeten um die Sonne mit ungeheurer Geschwindigkeit um den Kern fliegen. So besteht z. B. das neutrale Wasserstoffatom aus einem einfach geladenen elektronischen Atomkern, um den nur ein einziges negativ geladenes Elektron kreist, während das Uran mit 92 facher Ladung seines Atomkerns und 92 Elektronen in der Hülle an oberster Stelle in der Reihe der Elemente steht. Zwischen Wasserstoff und Uran finden alle übrigen Elemente ihren

Platz, das Eisen z. B. hat die Zahl 26. Sein Atom hat also bei 26facher positiver Ladung des Kerns 26 negative Elektronen in der Hülle. Die Verschiedenartigkeit der Elemente beruht nach dieser Theorie lediglich auf der verschiedenen Ladungszahl ihrer Atome.

Bisher ist es, abgesehen von den sog. radioaktiven Stoffen, nur gelungen, in die Hülle der Atome einzudringen, z. B. die Zahl und Ladung der negativen Elektronen des neutralen Atoms zu ändern. Auf den Kern selbst einzuwirken ist aber noch nicht geglückt. Daher haben wir bis zur Gegenwart durch die uns zur Verfügung stehenden Mittel, mit Ausnahme der Elemente von der Gruppe des Radiums, noch keine weiteren Grundstoffe zerlegen oder in andere umwandeln können.

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 angeführt: 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 genannt: Wasserstoff, Chlor, Brom, Jod, Sauerstoff, Schwefel, Stickstoff, Phosphor, Arsen, Antimon, Kohlenstoff, Silizium. Edelgase sind u. a. Helium 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.

Die Atome vieler Elemente können in verschiedener Anordnung zusammengefügt sein. Diese Elemente haben dementsprechend auch verschiedene Formarten (allotrope Modifikationen), die voneinander abweichende Eigenschaften aufweisen, wie z. B. der rote und gelbe

Phosphor, der im rhombischen und monoklinen System kristallisierende Schwefel oder der Kohlenstoff als Graphit und Diamant.

Reines Eisen. Auch beim Eisen kennt man verschiedene Zustandsformen, die nach den drei ersten Buchstaben des griechischen Alphabets mit α -, β - und γ -Eisen (Alpha-, Beta- und Gamma-Eisen) bezeichnet werden.¹⁾ Von diesen drei Modifikationen erhält man beim Abkühlen des hocherhitzten reinen Metalls zunächst das γ -Eisen. Dieses geht dann bei 910° in β -Eisen über, das seinerseits bei 780° in α -Eisen umkristallisiert. Die genannten Umwandelungspunkte nennt man Haltepunkte, weil die Temperaturen im Eisen trotz der fortschreitenden Abkühlung hier zunächst nicht abnehmen, sondern infolge der inneren, mit Wärmebildung verbundenen Umwandelungsvorgänge eine gewisse Zeit hindurch bestehen bleiben, um dann erst wieder gleichmäßig zu fallen.

Die drei Abarten des Eisens unterscheiden sich in erster Linie dadurch, daß α -Eisen magnetisierbar ist, β - und γ -Eisen dagegen nicht. Das reine α -Eisen verliert den Magnetismus allerdings im Gegensatz zum kohlenstoffhaltigen Eisen (Stahl) wieder, sobald der magnetisierende Einfluß aufhört. Die elektrische Leitfähigkeit ist beim reinen Eisen größer als beim kohlenstoffhaltigen. Der Leitwiderstand ist etwa 0,0994 Ohm bei 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt. Das Atomgewicht reinen Eisens ist 55,84, das spezifische Gewicht etwa 8,87.

Der Erstarrungs- und Schmelzpunkt des Eisens, also diejenige Temperatur, bei der das Eisenmetall während der Abkühlung vom flüssigen in den festen oder während der Erhitzung vom festen in den flüssigen Zustand übergeht, liegt bei 1528° . Wie die Mehrzahl der anorganischen Stoffe kristallisiert auch das Eisen bei der Erstarrung und zwar im regulären System. Hierbei bildet es aber für gewöhnlich nicht deutlich sichtbare, gut ausgebildete Kristalle, sondern ein dichtes Hauswerk unzählig vieler winziger, nach allen Richtungen hindurcheinander liegender Kriställchen, sog. Kristalliten, weil die Kristallbildung innerhalb der erstarrenden 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.

Eine der kennzeichnendsten Eigenschaften des Eisens ist sein Bestreben, andere Stoffe in sich aufzulösen, und zwar je nach der Tempe-

¹⁾ Neuerdings hat man noch eine vierte Form, das δ -Eisen festgestellt.

ratur in den verschiedensten Mengenverhältnissen. Aus diesem Grunde läßt sich ganz reines Eisen im großen überhaupt nicht darstellen, nahezu reines Eisen (mit etwa 0,02% Verunreinigungen) nur sehr schwierig. Es wird am einfachsten durch Elektrolyse von Eisenoxydulfalzen mit nachfolgendem wiederholten Frischen gewonnen.

Ein weiterer Grund dafür, daß reines Eisen nur in kleinen Mengen, d. h. höchstens für Sonderzwecke hergestellt wird, ist seine geringe Zugfestigkeit, die beim geglühten Elektrolyteisen nur etwa 24 kg je qmm bei 30—35% Dehnung beträgt. Reines Eisen zeichnet sich übrigens durch vorzügliche Schmiedbarkeit und Schweißbarkeit aus.

Zusammengesetzte Stoffe. Die meisten Stoffe bestehen nicht aus einem einzelnen Element, sondern sind aus zwei oder mehr Grundstoffen in der Weise aufgebaut, daß je ein oder mehr Atome der betr. Elemente zu einem kleinsten Teilchen des Stoffes, dem Molekül, in bestimmter Anordnung zusammengeschlossen sind. Die zusammengesetzten Stoffe teilt man in gleichartige (homogene) und ungleichartige (inhomogene). Zur ersten Gruppe zählt man jeden Stoff, der in keinem Punkte Verschiedenartigkeiten zeigt, auch nicht in den winzigen Teilchen, die sich z. B. bei Beobachtung unter einem sehr scharfen Mikroskop noch eben erkennen lassen. Daher gehören die chemischen Verbindungen und die physikalischen Gemische¹⁾ oder, wie man auch sagt, die echten Lösungen zu den homogenen Stoffen. Während aber eine chemische Verbindung aus ihren Elementen stets in einem ganz bestimmten unabänderlichen Mengenverhältnis zusammengesetzt ist, wie das reine 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 erheb-

¹⁾ Nicht zu verwechseln mit den inhomogenen mechanischen Gemengen, zu denen z. B. das aus Kohle, Schwefel und Salpeter bestehende gewöhnliche Schießpulver gehört.

liche Abweichungen aufweist. Die physikalischen Gemische oder echten Lösungen kennt man nicht nur in flüssigem Zustande, in dem sich die oben erwähnte Salmiaklösung befindet, sondern auch in gasförmigem und festem. 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 im amorphen Zustande 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 und Metallen, wie z. B. mit Kohlenstoff, Silizium, Phosphor, Schwefel, Mangan, Nickel, Chrom, Wolfram u. a. Sie unterscheiden sich von den wäbrigen Lösungen wie der erwähnten Salmiaklösung eigentlich nur dadurch, daß das Lösungsmittel, nämlich das geschmolzene Eisenmetall nicht wie das Wasser bei sehr geringer, sondern sehr hoher Temperatur erstarrt.

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

vielen verschiedenartigen, oft gerade einander entgegengesetzten Eigenschaften, die es für zahllose Verwendungszwecke geeignet machen, erit durch Legieren mit anderen Stoffen, denn reines Eisen hat, wie bereits erwähnt wurde, höchstens für einige wenige Sonderzwecke brauchbare Eigenschaften.

Kristallisation der Eisenkohlenstofflegierungen und technischen Eisensorten. Das Gefüge und seine Untersuchung. Da nach der obigen Erklärung alle technischen Eisensorten in geschmolzenem Zustand homogene flüssige Lösungen sind, so kristallisieren sie auch bei der Erstarrung in ganz ähnlicher Weise wie die entsprechenden wässerigen Lösungen; sie bleiben daher wie diese nur in bestimmten Fällen homogen, meist werden sie dagegen zu inhomogenen Stoffen. Ebenso wie das reine Eisenmetall selbst bilden auch seine Legierungen bei der Erstarrung ein Hauswerk richtungslos durcheinanderliegender Kristalliten. Durch den Aufbau oder das Gefüge (die Struktur) dieser Kristalliten werden nun die Eigenschaften eines technischen Eisens bestimmter chemischer Zusammensetzung bedingt, vorausgesetzt, daß das betreffende Stück keine örtlichen Unregelmäßigkeiten (Seigerungserscheinungen) aufweist, und frei von sonstigen Fehlern (Rissen, Spannungen, Schlackeneinschlüssen, Lunkern, Gasblasen u. dgl.) ist. Daher ist es von außerordentlicher Wichtigkeit, nicht nur die Zusammensetzung, sondern auch die Größe, Form und gegenseitige Anordnung der einzelnen Gefügebestandteile kennenzulernen.

Um sich einen Einblick in das Gefüge einer Legierung zu verschaffen, schleift man für gewöhnlich ein Probestück auf einer elektrisch angetriebenen Schleifbank mit verschieden grobem Schmirgelpapier, poliert darauf die geschliffene Fläche mit Hilfe von feinem Eisenoxyd u. dgl. auf Spiegelglanz und ätzt sie schließlich einige Minuten mit alkoholischer Salz- oder Pikrinsäure oder sonstigen geeigneten Stoffen. Betrachtet man einen solchen Schliff in auffallendem Licht unter einem Mikroskop, so lassen sich die einzelnen Gefügebestandteile, die von dem Ätzmittel verschieden stark angegriffen werden und dementsprechend verschiedene Farbe haben, deutlich voneinander unterscheiden. Da es oft erforderlich ist, den Gefügebau im Bilde festzuhalten, sind die meisten großen Mikroskope dieser Art mit einer photographischen Kamera ausgerüstet.

Das Ziel, das Gefüge einer Legierung zu erforschen, läßt sich auch auf dem Wege erreichen, daß man seine Entstehung von der beginnenden

Erstarrung an bis zur vollständigen Abkühlung genau verfolgt. In welcher Weise dies geschieht, deuten die weiter unten folgenden Ausführungen an.

Mit der Erforschung der Metalle und Legierungen befaßt sich die Metallographie. Diese noch junge Wissenschaft, die sich zum Teil auf chemisch-physikalischen Grundlagen aufbaut, hat bereits große Erfolge erzielt, und zwar nicht zum wenigsten dadurch, daß heute fast jedes Hüttenwerk und jede höhere oder mittlere technische Lehranstalt, die das Hüttenwesen zu ihrem Lehrfach zählt, ein eigenes unter Leitung von Sonderfachleuten stehendes metallographisches Laboratorium mit hervorragenden zweckentsprechenden Einrichtungen besitzt.

Der geringe Umfang des vorliegenden Werkchens gestattet nur, die Entstehung und Beschaffenheit des Gefüges der reinen Eisenkohlenstofflegierungen zu streifen, ohne auf das Gefüge der technischen Eisensorten näher einzugehen. Das erstere kennenzulernen genügt hier übrigens vollständig, weil der Kohlenstoff von allen in den gewöhnlichen technischen Eisensorten enthaltenen Elementen den weitaus größten Einfluß auf das Kleingefüge hat und daher zwischen diesen Eisensorten und den reinen Eisenkohlenstofflegierungen ein wesentlicher Unterschied hinsichtlich des Gefüges nicht besteht.

Die Eisenkohlenstofflegierungen zählen zur Gruppe derjenigen binären, d. h. aus zwei Elementen bestehenden Legierungen, deren Komponenten, also Eisen und Kohlenstoff, sich in flüssigem Zustande unter Bildung chemischer Verbindungen, z. B. des Eisenkarbids Fe_3C vollständig ineinander lösen, in festem Zustande aber nur teilweise ineinander löslich sind. Diese Legierungen machen daher während der Abkühlung noch weitgehende Umwandlungen durch.

Das Zustandschaubild der FeC -Legierungen. Die Entstehung des Gefüges einer binären Legierungsreihe läßt sich am einfachsten an Hand eines sog. Zustandschaubilds oder diagramms kennenlernen und dem Gedächtnis einprägen. Ein solches Schaubild kommt dadurch zustande, daß man bei jeder einzelnen der in Betracht kommenden Legierungen der ganzen Reihe diejenigen Temperaturpunkte, bei denen während der Abkühlung oder umgekehrt bei der Erhitzung bestimmte Zustandsänderungen eintreten, in ein Koordinatenkreuz, dessen Abzissen die Konzentrationen der beiden Legierungsbestandteile und dessen Ordinaten die Temperaturen enthalten, einträgt und die einander entsprechenden Temperaturpunkte durch Linien verbindet. Auf diese Weise ist auch das in Abb. 2 wiedergegebene Zustandschaubild der Eisenkohlenstofflegierungen (abgekürzt FeC -Legierungen) entstanden, genauer ausgedrückt des Systems Eisen-Eisenkarbid.

Vorgänge bei der Erstarrung. In diesem Schaubild stellen die auf den Linien AB und BC¹⁾ liegenden Temperaturpunkte den Beginn der Erstarrung der verschiedenen FeC -Legierungen dar, der durch Abscheidung von winzigen Kristallen in der Schmelze gekennzeichnet ist. Die Punkte des Linien-

¹⁾ Der weitere Verlauf von BC ist noch nicht einwandfrei festgestellt.

zuges AEBD dagegen zeigen die Beendigung der Erstarrung dieser Legierungen an. Demnach sind oberhalb ABC alle FeC-Legierungen flüssig, zwischen ABE und CBD teils flüssig, teils fest, und unterhalb AEBD vollständig fest. Der Verlauf der Linien AB und BC zeigt, daß der Erstarrungs- und Schmelzpunkt einer FeC-Legierung, also derjenige Punkt, bei dem die Erstarrung beginnt oder umgekehrt die Schmelzung beendigt ist, zunächst desto tiefer liegt, je höher der Kohlenstoffgehalt (C-Gehalt) ist, bei einer Legierung mit 4,2% C (Punkt B) am tiefsten gelegen ist, nämlich bei 1130° , und bei weiter zunehmendem C-Gehalt wieder ansteigt.

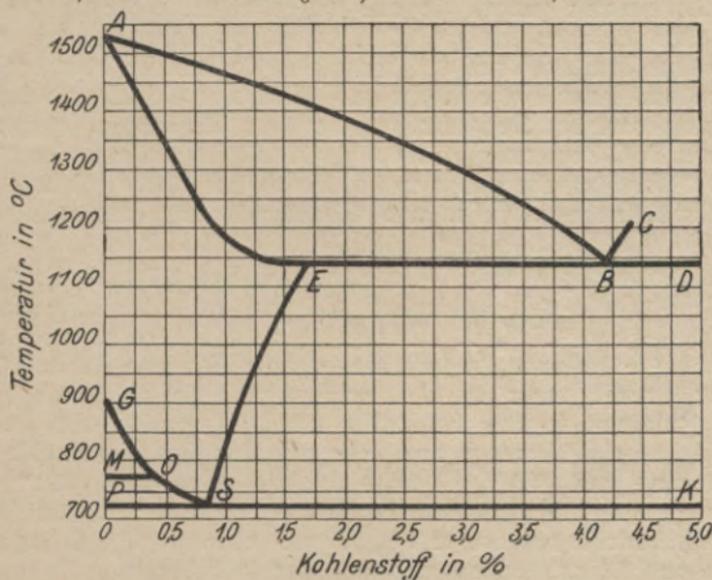


Abb. 2. Zustandschaubild der Eisen-Kohlenstofflegierungen (System Eisenarbid).

Der Punkt der beendigten Erstarrung oder beginnenden Schmelzung sinkt, wie aus dem Verlauf der Linie zu ersehen ist, zunächst mit steigendem C-Gehalt, bleibt dann aber bei den Legierungen von 1,7% an immer gleich, liegt also bei allen diesen bei 1130° (Linie EBD), der Schmelztemperatur der Legierung mit 4,2% C. Diese aus dem Zustandschaubild (Abb. 2) ersichtlichen Erstarrungsvorgänge haben die FeC-Legierungen mit allen anderen binären Legierungen gemeinsam, deren Komponenten in flüssigem Zustande vollständig, in festem aber nur beschränkt löslich in einander sind.

Die sich bei der Erstarrung ausscheidenden Kristalle würden, wenn die beiden Komponenten Eisen und Kohlenstoff in festem Zustande überhaupt nicht löslich ineinander wären und keine Verbindung miteinander bildeten, bei den Legierungen mit weniger als 4,2% C aus reinem Eisen und denen mit mehr als 4,2% C aus Kohlenstoff bestehen, während der Rest der bei 1130° erstarrenden Schmelze ein sog. eutektisches¹⁾ Gemenge aus

¹⁾ eutektisch = gut schmelzend.

beiden Elementen von der Zusammensetzung der Legierung also mit 4,2% C bilden würde. Da nun aber das Eisenmetall in festem Zustande bei höheren Temperaturen in und dicht unterhalb der Erstarrungszone bis zu 1,7% C in Form von Eisenkarbid aufzulösen vermag, bestehen die sich während der Erstarrung abscheidenden Kristalle der FeC-Legierungen mit Gehalten bis zu 4,2% C (untereutektische Legierungen) aus festen Lösungen (Mischkristallen) von Eisen und Eisenkarbid. Diese Mischkristalle, die sich also bei Temperaturen auf der Linie AB abzuschneiden beginnen, haben zunächst einen niedrigeren C-Gehalt als die sie umgebende Schmelze. Erst mit sinkender Temperatur saugen sie aus dieser immer mehr Kohlenstoff auf, so daß die Legierungen bis zu 1,7% C bei den entsprechenden auf Linie AE liegenden Temperaturen der beendigten Erstarrung oder beginnenden Schmelzung aus einer einheitlichen aus Eisen und Eisenkarbid bestehenden festen Lösung von der Konzentration der betr. Legierung bestehen. Eine geschmolzene FeC-Legierung mit 0,5% C beispielsweise beginnt also bei etwa 1500° Mischkristalle auszuscheiden, wird bei 1350° fest und ist dann aus Mischkristallen von Eisen und Eisenkarbid mit zusammen 0,5% C aufgebaut.

Bei den Legierungen mit C-Gehalten zwischen 1,7 und 4,2% können sich die Mischkristalle mit Kohlenstoff sättigen, enthalten also gegen Ende der Erstarrungszone 1,7% C. Darüber hinaus können sie aber von dem Element nichts aufnehmen, so daß die restliche Schmelze sich mit sinkender Temperatur immer mehr an C anreichert, bis sie in jedem Falle die eutektische Zusammensetzung hat, also 4,2% C enthält und bei 1130° unter Zerfall in ein Gemenge von Mischkristallen und Eisenkarbid erstarrt. Eine Legierung mit 2,5% C beispielsweise wird bei 1350° mit der Ausscheidung von Mischkristallen beginnen, bei 1130° erstarrt sein und dann aus Mischkristallen mit 1,7% C und einem 4,2% C enthaltenden Eutektikum aus Mischkristallen und Eisenkarbid bestehen.

Alle übrigen FeC-Legierungen mit mehr als 4,2% C (übereutektische Legierungen) scheiden im Gegensatz zu den untereutektischen nicht Eisen in Form von Mischkristallen, sondern Kohlenstoff in Gestalt von Eisenkarbid ab, und zwar wiederum bei jeder Legierung in solcher Menge, daß die übrigbleibende Schmelze schließlich kurz vor Beendigung der Erstarrung ebenfalls die eutektische Zusammensetzung mit 4,2% C hat und bei 1130° unter Zerfall in das eutektische Gemenge von Mischkristallen und Eisenkarbid erstarrt. So besteht z. B. eine Legierung mit etwa 4,35% C, die bei rund 1200° Eisenkarbidkristalle auszuscheiden beginnt und bei 1130° fest wird, aus dem erwähnten eutektischen Gemenge, in dem die Karbidkristalle eingebettet sind.

Unmittelbar nach der Erstarrung bestehen also die FeC-Legierungen mit einem C-Gehalt zwischen 0 und 1,7% aus Mischkristallen von Eisen und Eisenkarbid, zwischen 1,7 und 4,2% aus Mischkristallen und dem Eisen-Eisenkarbid-Eutektikum, über 4,2% aus Eisenkarbid und dem Eutektikum, während die Legierung mit 4,2% C nur aus dem eutektischen Gemenge aufgebaut ist.

Umwandlungen im festen Zustande. Sämtliche FeC-Legierungen machen auch noch im festen Zustande bei weiterer langsamer Abkühlung Umwandlungen durch, da die Lösungsfähigkeit des Eisens für Kohlenstoff mit sinkender Temperatur immer mehr abnimmt und schließlich ganz aufhört. Daher verhalten sich die nach der Erstarrung aus fester Lösung (Mischkristallen) von Eisen und Eisenkarbid bestehenden Legierungen zwischen 0 und 1,7% C bei der weiteren Abkühlung im festen Zustande ganz ähnlich wie die aus flüssiger Lösung von Eisen und Eisenkarbid bestehenden Legierungen mit mehr als 1,7% C bei der Erstarrung. So findet sich z. B. eine Legierung, die bei der weiteren Abkühlung der eutektischen bei der Erstarrung entspricht, nämlich diejenige mit 0,9% C. Sie zerfällt bei der Temperatur von 710° (Punkt S), die man zum Unterschied von der eutektischen als eutektoid bezeichnet, in ein inniges mechanisches Gemenge (Eutektoid) von Eisen und Eisenkarbid. Die untereutektoiden FeC-Legierungen mit weniger als 0,9% C beginnen bei Temperaturen auf der Linie GOS Eisenkristalle, und die übereutektoiden mit Gehalten zwischen 0,9 und 1,7% bei Temperaturpunkten auf der Linie SE Eisenkarbidkristalle auszuscheiden, und zwar jeweilig im Laufe weiterer Abkühlung in solcher Menge, daß der Rest der festen Lösung nach Erreichung der eutektoiden Temperatur von 710° (Linie PS) die eutektoiden Zusammensetzung hat, also einen C-Gehalt von 0,9% C aufweist und dann bei dieser Temperatur in das eutektoiden Gemenge von Eisen und Eisenkarbid zerfällt.

Nach vollständiger Abkühlung bestehen demnach die Legierungen mit C-Gehalten zwischen 0 und 0,9% aus Eisenkristallen und Eutektoid und diejenigen mit mehr als 0,9% bis zu 1,7% C aus Eisenkarbidkristallen und Eutektoid, während die Legierung mit 0,9% C nur Eutektoid enthält.

Auch bei den Legierungen mit mehr als 1,7% C machen natürlich die Mischkristalle, und zwar sowohl die während der Erstarrung primär ausgeschiedenen als auch die bei 1130° bei Bildung des Eutektikums entstandenen, bei weiterer Abkühlung die Umwandlungen der Legierungen zwischen 0,9 und 1,7% C durch. Sie scheiden also ebenfalls Eisenkarbid aus, bis dann der Rest bei 710° in das eutektoiden Gemenge Eisen-Eisenkarbid zerfällt. Demnach bestehen also auch die Legierungen mit mehr als 1,7% C nach vollständiger langsamer Abkühlung aus dem Eisen-Eisenkarbid Eutektoid und Eisenkarbid.

Bezeichnung der Gefügebestandteile. Den Gefügebestandteilen hat man bestimmte Bezeichnungen gegeben und sie entweder nach ihren Eigenschaften oder nach Forschern genannt, die sich auf dem Gebiete der Metallographie große Verdienste erworben haben. Das reine Eisen wird nach dem lateinischen ferrum Ferrit genannt, das Eisenkarbid Fe₃C Zementit, während das aus Eisen und Eisenkarbid bestehende eutektoiden Gemenge, das bei nicht allzu starker Vergrößerung unter dem Mikroskop als einheitlicher perlmutterglänzender Bestandteil erscheint, mit Perlit bezeichnet wird.

Der Ferrit erscheint nach dem Polieren und Ätzen mit Pikrinsäure bei Vergrößerung unter dem Mikroskop in Form verschieden großer und je

nach ihrer Lage zur Schlißfläche verschieden gefärbter polyedrischer Körner. Der Zementit ist der härteste der Gefügebestandteile der FeC-Legierungen, er läßt sich von einer gehärteten Stahlnadel nicht ritzen. Der Perlit kann sowohl in Form mehr oder weniger feiner Streifen (Lamellen) von Ferrit und Zementit als auch in Form von Körnern dieser Bestandteile auftreten.

Die langsam abgekühlten FeC-Legierungen bestehen also bei gewöhnlichen Temperaturen und einem C-Gehalt zwischen 0 und 0,9% aus Ferrit und Perlit, von 0,9% aus Perlit und mit mehr als 0,9% aus Zementit und Perlit.

Abgeschreck- und Anlaßgefüge. Werden die FeC-Legierungen aus höheren Temperaturen sehr schnell abgekühlt (abgeschreckt), so gelingt es, das bei diesen vorhandene Gefüge ganz oder wenigstens teilweise auch bei gewöhnlichen Temperaturen zu erhalten, so daß sie sich dann also nicht im chemischen Gleichgewicht, sondern im Zustande der sog. Unterkühlung befinden.

Bei Temperaturen oberhalb des Linienzuges GOSE abgeschreckte FeC-Legierungen mit C-Gehalten bis zu 1,7% C müßten danach bei gewöhnlichen Temperaturen aus fester Lösung, also aus Mischkristallen von Eisen und Eisenkarbid bestehen, die man metallographisch mit Austenit bezeichnet. Tatsächlich kann dieser Gefügebestandteil aber nur bei Zusatz anderer Elemente, wie z. B. Mangan, erhalten werden, also nicht in chemisch reinem Zustande, weil die Abkühlung nicht schnell genug vor sich geht, um den Austenit vor beginnendem Zerfall in Ferrit und Zementit zu hüten. Vielmehr entstehen hierbei Gefügebilder, die man als Zwischenglieder zwischen der festen Lösung, also dem Austenit einerseits und dem bei langsamer Abkühlung erhaltenen Eutektoid, also dem Perlit andererseits zu betrachten hat. Hierzu gehört zunächst der bei schroffer Abschreckung erhaltene, durch große Härte und seine nadelförmige Ausbildung gekennzeichnete Martensit. Geht die Abkühlung nicht so schnell vor sich, daß Martensit entstehen kann und nicht langsam genug, daß sich Perlit bildet, so entstehen Übergangsgefüge, wie Troostit, Osmondit oder Sorbit, bei denen die Grundbestandteile Ferrit und Zementit in so feiner Verteilung auftreten, daß sie auch bei stärkster Vergrößerung unter dem Mikroskop nicht erkannt werden können.

Diese Übergangsgefüge treten auch auf, wenn eine vorher schroff abgeschreckte, aus Martensit bestehende FeC-Legierung allmählich wieder erhitzt oder, wie der technische Ausdruck heißt, angelassen wird. Die Reihenfolge der Gefüge ist dann also Martensit, Troostit, Osmondit, Sorbit. Bei der eutektoiden FeC-Legierung mit 0,9% C bildet sich der Osmondit bei einer Anlaßhöhe von etwa 400°.

Erhitzt man ein durch langsame Abkühlung erhaltenes perlitisches Gefüge auf Temperaturen oberhalb des Linienzuges GOSE, wobei eine Rückverwandlung in Austenit stattfindet, so treten die erwähnten Übergangsgefüge nicht auf, vielmehr lösen sich bei Erreichung der betreffenden Temperaturen die Bestandteile Ferrit und Zementit einfach ineinander auf.

Auch das unmittelbar nach der Erstarrung entstandene Eutektikum der FeC-Legierungen mit mehr als 1,7% C, das aus Austenit (Mischkristallen)

und Zementit besteht, kann durch schnelle Abkühlung bei gewöhnlichen Temperaturen erhalten bleiben, allerdings unter geringer Zersetzung des Austenits. Es wird Ledeburit genannt.

Die aus hohen Temperaturen abgeschreckten FeC-Legierungen mit mehr als 1,7% C bestehen also bei einem Gehalt zwischen 1,7 und 4,2% C aus Austenit und Ledeburit, mit 4,2% C aus Ledeburit und über 4,2% C aus Zementit und Ledeburit.

Graphitbildung. Der Zementit neigt in freiem Zustande bei hohen Temperaturen zur Zersetzung in Kohlenstoff und Eisen nach der Gleichung: $\text{Fe}_3\text{C} = \text{C} + 3\text{Fe}$. Diese Zersetzung erfolgt in desto stärkerem Ausmaße, je langsamer die hierfür besonders in Betracht kommenden Temperaturzonen durchschritten werden. Der Kohlenstoff tritt entweder in kristalliner Form als Graphit oder in Form schwarzer Rötchen als Temperkohle auf.

Graphit entsteht z. B. bei den übereutektischen FeC-Legierungen während der Erstarrung der Schmelze, wobei er zum größten Teil infolge seines geringern spezifischen Gewichts darin hochsteigt und sich als sog. Garjchaum an ihrer Oberfläche sammelt. Ferner bildet sich Graphit hauptsächlich bei der weiteren Abkühlung der Legierungen mit mehr als 0,9% C dadurch, daß der hierbei ausscheidende Zementit in Ferrit und Graphit zerfällt. Da die Abkühlung der reinen FeC-Legierungen meist nicht schnell genug vor sich geht, um eine Zersetzung des Zementits ganz zu verhindern, findet man in ihnen neben Zementit fast stets auch Graphit. Temperkohle dagegen tritt dann auf, wenn schnell abgekühlte zementithaltige, also den weißen Roheisensorten entsprechende FeC-Legierungen langsam wieder auf höhere Temperaturen erhitzt werden, wie es beim Temperverfahren der Fall ist.

Form, Größe und Anordnung der Gefügebestandteile. Neben der chemischen Zusammensetzung, haben auch noch andere Faktoren, über die das Zustandschaubild nichts aussagt, wie z. B. die Form, Größe und Anordnung der Gefügebestandteile einen wesentlichen Einfluß auf die Eigenschaften der technischen Eisensorten. Die metallographischen Forschungen hierüber sind zwar noch nicht abgeschlossen und allgemeine Gesetzmäßigkeiten demgemäß nur teilweise festgestellt, doch liegen schon umfangreiche Ergebnisse vor, besonders über die Größe der einzelnen Gefügebestandteile (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. Einen noch günstigeren Einfluß nach dieser Richtung hat auf die langsam abgekühlten schmiedbaren Sorten ein nach der Abkühlung besonders vorgonnenenes sachgemäßes Glühen. Dieses besteht darin, daß man das betr. Material auf Temperaturen erhitzt, die dicht oberhalb der Linien GOSE liegen. Mit der hierbei erfolgenden Umwandlung des Perlits in die feste

Lösung und der Auflösung des Ferrits bzw. Zementits in dieser Lösung ist die Entstehung eines vollständig neuen feinkörnigen Gefüges verbunden, sobald man kurz nach Erreichung der richtigen Glühtemperatur das Material wieder langsam abkühlen läßt. Zu langes Glühen bei richtiger Temperatur oder richtige Glühdauer bei zu hoher Temperatur (weit oberhalb G O S E) führen keine Verfeinerung des Kornes, eher sogar eine Vergrößerung herbei. Noch feiner wird das Korn, wenn das Material nach sachgemäßer Glühdauer und aus geeigneter Glühtemperatur abgeschreckt und dann angelassen wird. Eine Kornverfeinerung, die auch diejenige durch sachgemäßes Glühen noch weit übertrifft, erzielt man jedoch durch mechanische Behandlung, und zwar durch Warmbehandlung oberhalb der Umwandlungszone (Walzen, Schmieden, Pressen bei Rotglut) und in noch höherem Grade durch Kaltbearbeitung (Kaltwalzen Kaltziehen unterhalb dieser Temperaturzone). Das überhaupt feinste Korn wird durch eine Vereinigung von sachgemäßer Warmbearbeitung oberhalb der Umwandlungszone mit darauf folgendem Abschrecken und Anlassen oder anschließendem Kaltbearbeiten erhalten.

Die Form und Anordnung der einzelnen Klein-gefügebestandteile, worauf hier nicht näher eingegangen werden kann, erfahren 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 netzförmig um die einzelnen Peritkörner herum (Netzgefüge) oder aber die Anordnung dieser Gefügebestandteile ähnelt dem Gefüge in den Meteoriten (Widmannstättenische 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 und ihre Prüfung.

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

Die Eigenschaften jedes in der Technik verwerteten Werkstoffs aus Eisen sind, wenn man von den weiter unten aufgeführten Material-

fehlern wie Rissen, Spannungen, Seigerungen, Schlackeneinschlüssen, Lunkern, Gasblasen u. a. absieht, wie schon erwähnt, im wesentlichen von der Beschaffenheit seines Kleingefüges (Mikrostruktur) abhängig, d. h. von der chemischen Zusammensetzung, Form und Größe der einzelnen nach sachgemäßem Schleifen, Polieren und Ätzen bei mehr oder weniger starker Vergrößerung im Mikroskop sichtbaren Gefügebestandteile sowie ihrer Anordnung und Verbindung untereinander. Da die Gefügebefchaffenheit nun einerseits von der chemischen Zusammensetzung des Eisens abhängig ist, andererseits durch seine thermische, mechanische oder thermisch-mechanische Behandlung beeinflusst wird, so kann man also sowohl durch die Art und Menge von chemischen Elementen, mit denen das Eisen legiert wird, als auch durch die Art der Durchführung der erwähnten drei technologischen Verfahren die verschiedenen Eigenschaften mit den mannigfaltigsten Abstufungen beim Eisen erzielen.

Die chemische Zusammensetzung des technisch verwerteten Eisens wird einmal durch solche Elemente bedingt, die fast stets bei der Darstellung (teilweise ungewollt) 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, z. B. den Sonderstählen zugesetzt werden, wie Nickel, Chrom, Wolfram, Vanadin, Molybdän.

Die thermische Behandlung besteht in langsamer oder schneller Abkühlung (Abschrecken) des Werkstoffs aus höheren Temperaturen oder Wiedererhitzen (Anlassen) des bereits abgeschreckten Werkstoffs auf bestimmte Temperaturen oder längerem Glühen gewisse Zeiten hindurch u. dgl., während die mechanische Behandlung technologische Verfahren, wie Walzen, Schmieden, Pressen, Ziehen u. a. umfasst und die thermisch-mechanische Behandlung beide Arten in sich vereint, also z. B. Walzen, Wiedererwärmen, Schmieden, Abschrecken und Anlassen.

Im folgenden sollen die wichtigsten Eigenschaften des Eisens kurz gekennzeichnet werden, und zwar unter Aufzählung einiger gebräuchlicher Verfahren zu ihrer Prüfung sowie der Einflüsse, die sowohl einige Elemente als auch die thermische, mechanische und thermisch-mechanische Behandlung auf die Eigenschaften ausüben.

Festigkeitseigenschaften. Die Festigkeitseigenschaften, zu denen neben der eigentlichen Festigkeit auch die Begriffe Zähigkeit und

Elastizität zählen, lassen sich am einfachsten an Hand der üblichen Prüfungsverfahren erläutern, welche die Ermittlung der Widerstandsfähigkeit des Werkstoffes gegen Formänderungen durch äußere Kräfte bezwecken. Hierzu dienen statische Versuche mit allmählich wachsenden Kräften, dynamische Versuche mit stoßweise wirkender Beanspruchung und Dauerversuche, bei denen der Werkstoff fortlaufend einer großen Zahl statischer oder dynamischer Beanspruchungen ausgesetzt wird.

Von den statischen Proben ist der Zerreißversuch am gebräuchlichsten. Man verwendet hierbei für gewöhnlich einen 200 oder 100 mm langen und 20 mm dicken Versuchsstab aus dem zu untersuchenden Werkstoff und unterwirft diesen einer allmählich zunehmenden Zugbeanspruchung. Dabei verlängert sich der Stab zunächst ein wenig, geht aber nach Aufhören der Zugkraft, falls nicht die sog. Elastizitätsgrenze überschritten wird, wieder auf seine ursprüngliche Länge zurück. Andernfalls, also bei Überschreitung der Elastizitätsgrenze treten bleibende Formänderungen auf, die von einem gewissen Punkte, der sog. Streck- oder Fließgrenze, ab sehr schnell zunehmen, ohne daß die Spannung wesentlich erhöht wird. Mit oder nach Erreichung einer Spannungshöchstgrenze, die mit Bruchgrenze bezeichnet wird und die der Zerreißfestigkeit gleichkommt, bildet sich nahe der Mitte des Versuchsstabes eine örtliche Einschnürung, innerhalb welcher schließlich der Bruch eintritt.

Die Verlängerung einer auf den Versuchsstab aufgetragenen Meßstrecke in Hundertteilen ihrer ursprünglichen Länge ausgedrückt, bezeichnet man als Dehnung und die Abnahme des Querschnitts an der Bruchstelle in Hundertteilen des ursprünglichen Querschnitts als Einschnürung oder Querschnittsverminderung.

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 schmiedbaren Eisen in geringen 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 in erkaltetem Zustand leicht bricht, letzterer dagegen ruft Rotbruch hervor, also Zerbrechen bei Behandlung in Rotglut. Nachteiligen Einfluß haben auch Seigerungen, Schlackeneinschlüsse, Lunker, Gasblasen (S. 46) und Spannungszustände, welche letztere hauptsächlich infolge ungleichmäßiger Wärmebehandlung, bzw. Abkühlung entstehen, auf die Festigkeitseigenschaften des technisch verwerteten Eisens.

Von sehr großer Bedeutung für die Festigkeitseigenschaften ist die mechanische und thermische (Wärme-) Behandlung des Eisens. Hierdurch werden nicht nur verschiedene der eben genannten Materialfehler der technischen Eisensorten teilweise beseitigt, sondern bei sachgemäßer Durchführung der betr. Verfahren wird auch das Kleingefüge in einer die Festigkeitseigenschaften günstig beeinflussenden Weise verändert. So kann z. B. das Korn in weitgehendem Maße verfeinert werden. Kornverfeinerung ist aber gleichbedeutend mit Steigerung der Festigkeit, bis zu einer gewissen Grenze auch der Zähigkeit. Daher wirkt Warmbearbeitung bei Rotglut günstig auf Festigkeit und Zähigkeit, Kaltbearbeitung besonders auf Festigkeit. Über die Wärmebehandlung des gewöhnlichen schmiedbaren Eisens läßt sich ganz allgemein sagen, daß es im Urzustand, in dem es sich nach dem Gießen und darauf folgenden langsamen 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.

Von sonstigen statischen Versuchen zur Prüfung des Eisens sind noch zu erwähnen der Druck-, Biege-, Knick-, Dreh-, Scher- und Lochversuch. Von den oben erwähnten dynamischen Versuchen kommen besonders Schlagzug-, Schlagdruck-, Stauch- und Schlagbiegeversuche in Betracht, von denen noch die Kerbschlagprobe besonders zu erwähnen ist.

Die Dauerversuche umfassen solche mit Zug-, Druck-, Biege- und Drehbeanspruchung in stets gleicher Richtung sowie mit Zug- und Druckwechsel.

Härte. Die Härte ist der Widerstand, den ein Stoff dem Eindringen eines andern Stoffes in seine Oberfläche entgegensetzt. Die gebräuchlichste Härteprüfung ist die Kugeldruckprobe nach Brinell. Bei dieser wird die Härte des Werkstoffes dadurch festgestellt, daß man eine Stahlkugel unter starkem Druck auf das Material nach vorausgegangener Glättung der Oberfläche aufsprallen läßt und dann einfach die Tiefe des Kugeleindrucks mißt. Je tiefer dieser unter sonst gleichen Umständen ist, desto weicher ist eben der Werkstoff.

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 Abschnitt 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 gefohlnen 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, letzere 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. 30) 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 Schmiede-

eisen 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 hohen 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 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 (vgl. S. 35).

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 als der Kohlenstoff. Dementsprechend haben auch die Eisensorten mit geringeren Kohlenstoffgehalten — schmiedbare Eisensorten — viel höher liegende Schmelzpunkte, sind also viel schwerer schmelzbar als 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 in flüssigem Zustande gewinnen will (Flußeisen) und nicht in teigigem, nur halb geschmolzenem (Schweißeisen).

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 hat. Aus diesem Grunde muß man den Formen stets um so viel größere Abmessungen geben, als die Schwindung des eingefüllten Materials beträgt. Bei Gußeisen (S. 124) 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 darin Spannungen, die schon bei der Abkühlung oder später im Gebrauch zum Bruch führen können.

Eine weitere sehr nachteilige Folge des Schwindens ist die Entstehung von Luntern, d. h. von Hohlräumen in einem Gußstück, die sich meist an der Stelle bilden, an der zuletzt noch flüssiges Metall vorhanden war. In den Luntern sammeln sich leicht allerlei Auscheidungen in Form von Oxiden u. dgl. an, so daß sie die Festigkeitseigenschaften auch in solchen Fällen noch ungünstig beeinflussen, in denen sie in Folge 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 in Folge 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 erstarrten 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 in Folge 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 Doppelzweck verfolgen, nämlich das Eisen in bestimmte Formen zu bringen und gleichzeitig, besonders durch Veränderung seines Kleingefüges, seine Eigenschaften zu verbessern. Da das Eisen desto plastischer ist, je höher seine Temperatur 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 Schmiedarbeit folgen zu lassen, die in erster Linie die Verbesserung des Gefüges (Kornverfeinerung usw.) bezweckt. Am günstigsten ist es nach den Ausführungen im dritten Abschnitt im allgemeinen, 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 Kaltrecken in allen bearbeiteten Teilen gleich ist, sonst treten leicht Spannungen auf, die zur Rißbildung oder gar zum Bruch führen.

Schweißbarkeit. Zwei Stücke schmiedbaren Eisens können in hoherhittem 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 Kohlenstoffen und anderen Elementen nimmt die Schweißbarkeit ab; besonders schädlich wirkt Schwefel in

dieser Hinsicht. Sehr gut schweißbar ist auch das Schweiß Eisen, 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 Schweiß Eisen viel leichter erzielen als beim Flußeisen, weil der Schlackengehalt 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 Dünnflüssigkeit nach allen Seiten hin entweicht, so daß Metall mit Metall auf der ganzen Fläche unmittelbar in Berührung kommt.

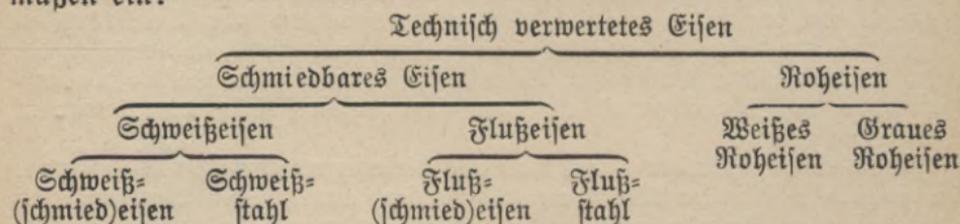
Härtbarkeit. Härtbar nennt man alle diejenigen technischen Eisensorten, die nach sehr schneller Abkühlung (Abschrecken) aus höheren Temperaturen (Rotglut oder Weißglut) eine größere Härte haben als bei langsamer Abkühlung. Worauf die Härtbarkeit beruht, geht bereits aus dem Abschnitt über Härte hervor. 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 Nickelstähle, verwandeln sich auch bei langsamer Abkühlung an der Luft nicht in Perlit, sondern sie behalten den bei höheren Temperaturen gebildeten martensitischen oder austenitischen Zustand (feste Lösung) bei. Sie befinden sich also von selbst ohne Abschrecken gewissermaßen in gehärtetem Zustande und heißen daher selbsthärtende Stähle.

Werkstoffprüfung. Zur Prüfung eines noch im Werden befindlichen Werkstücks dienen die verschiedenen technologischen Proben, wie z. B. die Biege-, Schmiede- und Schweißproben. Bei den Schmiedeproben wiederum unterscheidet man zwischen Kalt- und Warm schmiedeproben und verwendet je nach der Art des Schmiedens die Ausbreite-, Stauch-, Aufdorn-, Loch-, Polter- oder Bördelprobe u. a. m. Daneben gibt es noch eine ganze Reihe von Sonderuntersuchungen, die zu erwähnen im Rahmen dieses Buches zu weit führen würde.

Um eine möglichst weitgehende Vereinheitlichung der Werkstoffprüfung herbeizuführen, den Verkehr zwischen Herstellern und Verbrauchern zu erleichtern sowie der Ausführung mangelhafter Lieferungen oder übertriebenen Ansprüchen vorzubeugen, hat der Normenausschuß der deutschen Industrie (NDI) in Zusammenarbeit mit dem Verein deutscher Eisenhüttenleute Normen für die Werkstoffprüfung und die Beschaffenheit, für Güte- und Lieferungs vorschriften u. a. aufgestellt, die teilweise bereits veröffentlicht sind, teils sich noch in Bearbeitung befinden oder vorgesehen sind. In Betracht hierfür kommen die Normblätter DIN 1600—1699.

V. Einteilung und Benennung des technisch verwertbaren Eisens.

Bis vor kurzem teilte man die technischen Eisensorten noch folgendermaßen ein:



Die beiden Hauptgruppen des technischen Eisens waren also: schmiedbares Eisen und Roheisen. Unter dem Begriffe „schmiedbares Eisen“ faßte man alle solchen technischen Eisensorten zusammen, die durch mechanische Behandlung bei höheren Temperaturen, wie Schmieden, Pressen, Walzen und ähnliche Verfahren 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. Daher kann auch der Kohlenstoffgehalt als Unterscheidungsmerkmal zwischen den beiden Hauptgruppen herangezogen werden. Schmiedbares Eisen ist dann also ein Eisen mit geringerem Kohlenstoffgehalt, Roheisen dagegen ein höher gekohltes Eisen. Die Grenze zwischen beiden liegt in der Nähe eines Kohlenstoffgehaltes von ungefähr 1,5%. Eine noch schärfere Grenze festzulegen ist überflüssig, weil Eisensorten mit 1,5 — 2% C in der Technik kaum, solche mit 2 — 2,5% C nur für einzelne Sonderzwecke verwendet werden. Dies ist auch undurchführbar, weil der Übergang von schmiedbarem zu nicht schmiedbarem Eisen ganz allmählich stattfindet und weil jedes der übrigen, im technischen Eisen enthaltenen 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 sind also die schmiedbaren Sorten des gewöhnlichen Eisens auch an diesen Elementen ärmer als die Roheisensorten.

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 hatte nach der oben angegebenen Einteilung zwei Unterabteilungen: Schweiß Eisen und Flußeisen. Schweiß Eisen ist, da es infolge nicht hinreichend hoher Schmelztemperaturen 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 geringeren spezifischen Gewichts in dem in flüssigem Zustande gewonnenen Metall bis an seine Oberfläche hochsteigt und dort durch Abziehen oder dgl. vom Eisen getrennt werden kann. Das Schweiß Eisen wurde weiter eingeteilt in die beiden Untergruppen: Schweißschmied Eisen (für gewöhnlich abgekürzt einfach Schweiß Eisen genannt) und Schweißstahl; das Flußeisen in die Untergruppen: Flußschmied Eisen (meist abgekürzt Flußeisen) und Flußstahl.

Eine scharfe Grenze zwischen Schweißschmied Eisen und Schweißstahl, oder zwischen Flußschmied Eisen und Flußstahl läßt sich nicht ziehen. Der Unterschied zwischen Schmied Eisen und Stahl besteht lediglich darin, daß man mit ersterem stets weichere, weniger feste, aber zähere, mit Stahl dagegen härtere, festere, jedoch sprödere Sorten schmiedbaren Eisens bezeichnet. Früher benutzte man als Unterscheidungsmerkmal zwischen den beiden Untergruppen, soweit die gewöhnlichen Sorten schmiedbaren Eisens in Frage kamen, noch die Härbarkeit, indem man mit Schmied Eisen alle nicht deutlich härtbaren, mit Stahl alle deutlich härtbaren Sorten bezeichnete. Wegen des allmählichen Übergangs von nicht deutlicher zu deutlicher Härbarkeit hat man diese Eigenschaft aber jetzt als Unterscheidungsmerkmal aufgegeben. Auch einen bestimmten Kohlenstoffgehalt setzt man nicht mehr als Grenze zwischen Schmied Eisen 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 Flußschmied Eisen anzusprechen, während es bei demselben Kohlenstoffgehalt, aber gleichzeitiger Anwesenheit von 1% Mangan ausgezeichnet härtbar ist und dementsprechend als Stahl zu bezeichnen wäre. Erst recht

undurchführbar ist eine Unterteilung in Schmiedeeisen und Stahl auf Grund der Härbarkeit 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 langsamer Abkühlung an der Luft ohne Abschrecken erhalten (selbsthärtende Stähle) oder von Natur aus infolge Vorhandensein gewisser Gefügebestandteile große Härte aufweisen (naturharte Stähle). Selbst eine bestimmte Zugfestigkeit kann nicht als einwandfreie scharfe Grenze zwischen Schmiedeeisen und Stahl angenommen werden, weil das Prüfungsergebnis, auf die Querschnitteinheit bezogen, verschieden ausfällt, je nachdem man dünne oder dicke Stäbe des Materials beim Zerreißversuch prüft. Trotzdem hatte man in verschiedenen Fällen die Zugfestigkeit als geeignetes Unterscheidungsmerkmal anerkannt und war übereingekommen, mit Flußstahl alles in flüssigem 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 in halbgeschmolzenem Zustande gewonnene, schlackenhaltige schmiedbare Eisen, das eine Zugfestigkeit von 42 kg und mehr auf 1 qmm Querschnitt aufweist.

In Ermangelung der Möglichkeit, eine scharfe Grenze zwischen Schmiedeeisen und Stahl festzusetzen, bezeichnet man in Amerika, England und Frankreich alle Sorten 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 Schmiedeeisen und Stahl ganz fallen zu lassen. Der Werkstoffausschuß des Normenausschusses der deutschen Industrie hat dementsprechend beschlossen, daß alles schon ohne Nachbehandlung schmiedbare Eisen in Zukunft als Stahl bezeichnet werden soll, und zwar soll der in flüssigem Zustande gewonnene Stahl „Flußstahl“, der in teiligem Zustande gewonnene „Schweiß- oder Buddelstahl“ heißen. Man benennt also mit Elektro Stahl alles im elektrischen Ofen erzeugte Flußeisen, mit Stahlguß oder Stahlformguß alles im Tiegel-, Martin-, Elektro-Ofen oder in der Birne hergestellte, unmittelbar in endgültige Gebrauchsformen gegossene Flußeisen, mit Sonder- oder Spezialstahl alle solchen Flußeisensorten, die eine ihrem bestimmten Sonderzweck angepasste Zusammensetzung haben, und zwar ohne Rücksicht auf Kohlenstoffgehalt, Härte oder Härbarkeit. 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 und manganreiches Roheisen für den Martinprozeß. Ein für Gießereizwecke geeignetes Roheisen nennt man Gießereiroheisen. Hämatit ist ein graues phosphorarmes Gießereiroheisen mit höchstens 0,1% P, Spiegeleisen eine manganreiche Legierung mit Roheisencharakter, die ihren Namen dem eigentümlichen Bruchgefüge verdankt.

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-, Elektro-Ofen 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; er 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-, Bessemer-, Thomas-, Martin-, Tiegel- und Elektro Stahl. Weiterhin kommen zur Bezeichnung technischer Eisensorten noch in Betracht der Verwendungszweck, daher Schienenstahl, Kanonenstahl, Konstruktionsstahl, Werkzeugstahl¹⁾, sodann bestimmte Legierungsbestandteile, die

1) Von den Werkzeugstählen haben die durch hohen Chrom- und Wolframgehalt ausgezeichneten Schnellschnittstähle eine besondere Bedeutung, da

auf die Eigenschaften der betr. Sorten besondere Einflüsse ausüben (Kohlenstoffstahl, Nickelchromstahl, Wolframstahl), ferner die äußere Form (Quadrat-, Flach-, Band-, Rund-, Profileisen), schließlich die Namen von Erfindern, Herstellern usw. (Becker-, Boshardt-, Flexilis-Haberland-, Phönix-Stahlguß).

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 in natürlichem 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 Kohlensäure 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 Wärmeinheiten (WE) oder Kalorien gemessen. Eine Wärmeinheit 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 be-

sie mit großer Geschwindigkeit Gegenstände abdrehen, abhobeln, fräsen, durchbohren usw. können, ohne dabei ihre Härte zu verlieren wie die sonst verwendeten Arbeitsstähle, die infolge der entstehenden großen Reibungswärme eine Anlaßwirkung erfahren, also weich werden.

stimmten 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) in festem, als Erdöl in flüssigem und als Naturgas in gasförmigem Zustande.

Holz, Torf, Braunkohlen. Holz und Torf werden in der Eisenindustrie nur für untergeordnete Zwecke, rohe Braunkohlen schon öfter, aber auch nur in verhältnismäßig geringem Umfange verwendet, und zwar in der Hauptsache wegen ihres auch in lufttrockenem Zustande noch hohen Wassergehaltes, der den Heizwert ganz außerordentlich herunterdrückt. 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 unter Luftabschluss entstandenen Reste von Pflanzen, die in früheren Zeiten auf der Erde wuchsen, nur sind die Steinkohlen sehr viel 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 in reinem aschefreien Zustande und ihren Heizwert in reinem und rohem Zustande:

Bezeichnung	Geologische Entstehungsperiode	Zusammensetzung der reinen wasser- und aschefreien Substanz in Gewichtsprozenten			Heizwert der reinen brennbaren Subst. in WE	Heizwert der rohen Substanz mit Wasser u. Aschebestandteilen in WE
		C	H	O		
Holz	Alluvium	50	6	41	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—9	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 WE liegende Heizwerte; bestimmte Steinkohlenforten andererseits viel weniger als 6500 WE. 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 Luftabschluß, 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 deren man die Steinkohlen in verschiedene Gruppen einteilt.

Diejenigen Kohlenforten, die bei der Verkokung das geringste Koks- ausbringen (50—60%), dafür aber die größte Menge von flüchtigen Bestandteilen haben, sind die trockenen oder Gasflammkohlen, die mit langer, stark rauchender Flamme verbrennen. Der als Rückstand bei der Erhitzung unter Luftabschluß übrigbleibende Koks der vorher feingemahlene Kohle ist pulverförmig, höchstens schwach gefrittet. Man nennt die Gasflammkohlen daher auch Sandkohlen. Ein etwas höheres Koks- ausbringen (60—68%) haben die ebenfalls mit langer Flamme verbrennenden Gaskohlen, deren Koks sintert (daher auch Sinterkohlen), d. h. in feinen Teilchen oberflächlich zusammenklebt, bisweilen auch schwach schmilzt, dann aber stark zerklüftet ist. Noch günstiger ist das Koks- ausbringen bei der mit mittlerer Flamme und weniger Rauch verbrennenden eigentlichen Fettkohle; es beträgt 68—82%. Da diese Kohlen bei der Erhitzung unter Luftabschluß zusammenbacken, werden sie auch Backkohlen genannt. Ihr Koks ist geschmolzen, fest, mäßig gebläht; die Fett- oder Backkohlen sind daher zur Koks- darstellung am besten geeignet (s. weiter unten). Die dann folgenden Magerkohlen liefern wiederum wie die Gasflammkohlen nur einen sintern- den Rückstand, werden daher zur Koks- darstellung für sich allein nicht verwendet. Die Reihe der Steinkohlen wird beschlossen 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 Ausbeute bis zu 90% und darüber. Durch besondere Behandlung (z. B. Stampfen,) oder durch Mischung können auch solche Kohlen verkokungsfähig gemacht werden, die an sich diese Eigenschaft nicht besitzen.

Flüssige und gasförmige natürliche Brennstoffe, also Erdöl und Naturgas, werden auf Hüttenwerken als Heizstoffe in größerem Umfange im allgemeinen nur in solchen Gegenden verwendet, in 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 viele Zwecke nicht in ihrem ursprünglichen Zustande verwertbar. Sie müssen daher durch besondere Verfahren ihren Verwendungszwecken angepaßt werden. Die auf diese Weise erhaltenen, teilweise auch als Nebenzeugnisse anfallenden künstlichen Brennstoffe werden ebenso wie die natürlichen in festem, flüssigem und gasförmigem Zustande gewonnen.

Künstliche feste Brennstoffe (Preßkohlen, Holzkohle, Koks). Die Preßkohlen (Briketts) werden sowohl aus Braunkohle als auch aus Steinkohle hergestellt. Während die Braunkohle zur Brikettherstellung nach vorhergegangener sorgfältiger Mahlung und Trocknung infolge ihres Bitumengehaltes keines weiteren Zusatzes, sondern nur hohen Druckes bedarf, muß der Steinkohle noch etwa 5% eines Bindemittels, am besten Steinkohlenteerpech, vor der Pressung zugefetzt werden. Braunkohlenbriketts, die besonders in Eisengießereien zum Heizen von Trockenöfen u. dgl. verwendet werden, haben einen Heizwert von 4500 bis 5500 WE, Steinkohlenbriketts einen solchen von 7000—8000 WE.

Die Holzkohle ist der am längsten in der Eisenindustrie verwendete künstliche feste Brennstoff, wie bereits aus dem ersten Abschnitt hervorgeht. Sie wurde früher ausschließlich in Meilern, d. h. sorgfältig geschichteten, mit Erde überdeckten Haufen durch Verkohlen von Holz gewonnen und diente zuerst als Heiz- und Reduktionsstoff zur unmittelbaren Darstellung schmiedbaren Eisens aus Erzen, dann auch zur Darstellung von Roheisen im Hochofen und von schmiedbarem Eisen im Frischfeuer. Gegenwärtig wird Holzkohle wegen ihres hohen Preises in größerem Umfange nur noch in kohlenarmen Eisenerzgegenden, wie Schweden, Steiermark u. a., zur Eisendarstellung verwendet. In

Deutschland wurde Holzkohlenroheisen für gewisse Sonderzwecke in geringen Mengen zuletzt noch bei Schmalkalden (Thüringer Wald) und bei Rübeland (Harz) erzeugt.

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 zu weich sind, daher durch den großen Druck und die starken Reibungen beim Abwärtsinken 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 die ganzen chemischen Vorgänge überhaupt zum Stillstand kommen müßten. 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 schwerer verbrennlich ist, und außerdem 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, und zwar vorwiegend aus sonst schlecht verwertbarer Feinkohle, die bei der Aufbereitung der Rohkohle, d. h. bei ihrer Reinigung von den beigemengten Mineralien anfällt. 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 dagegen sind die Ausgangsstoffe zahlloser wertvoller Erzeugnisse, die in besonderen chemischen Fabriken daraus hergestellt werden. Das Haupterzeugnis der Kokereien, der Koks, soll besonders für Hochofenzwecke neben 81—87% Kohlenstoff nicht mehr als 9% Asche, 4% Wasser und 0,9 bis höchstens 1,25% Schwefel enthalten und bei genügender Druckfestigkeit, geringer Zerreibbarkeit und guter Stückfestigkeit leicht verbrennlich sein. Der Heizwert des Koks beträgt je nach der Zusammensetzung 7000—7600 WE. 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 schwerer verbrennlich, 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, als Heizöle in der Eisenindustrie verwendet. Da der Heizwert dieser Erzeugnisse 9000—10000 WE und mehr beträgt, überdies ein flüssiger Brennstoff mit Hilfe von Düsen sehr feine sprühregenartige Verteilung zuläßt, daher auch mit geringem Luftüberschuß rauchfrei verbrannt werden kann, ist die Wärmeerzeugung und auch die Krafterzeugung 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.) oder zum Antrieb von Motoren auf Hüttenwerken verwendet.

Künstliche gasförmige Brennstoffe (Koksosen-, Hochofen-, Generatorgas) spielen in der Eisenindustrie eine besonders große Rolle, einerseits weil sie auf den Hüttenwerken in großem Umfang als Nebenprodukte gewonnen werden, andererseits weil die Heizung hiermit erhebliche Vorteile hat, so z. B. für das Siemens-Martin-Verfahren, das sehr hohe Temperaturen erfordert. Diese lassen sich nämlich 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 Wärmemengen 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 bei 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 Luftsauerstoff unmittelbar neben sich hat, und die Mehrzahl davon 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 Wärmeverrat mit auf den Weg geben kann (vgl. die Siemensfeuerung beim Martin-Verfahren), 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 geht.

Das Koksöfengas und das Hochofen- oder Gichtgas sind von den auf Hüttenwerken verwerteten, in Form von Nebenerzeugnissen gewonnenen künstlichen gasförmigen Brennstoffen 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 WE je cbm, ist also sehr hoch. Nicht ganz die Hälfte der in einer Koksöfenbatterie gewonnenen Gasmenge 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 Koksosengase 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 hohem Stickstoffgehalts (etwa 60%), der aus der dem Hochofen zugeführten Verbrennungsluft, dem Wind, stammt, ist der Heizwert sehr gering. 1 cbm Gichtgas hat nur 600—950 WE. Über die Verwendung der Gichtgase ist Näheres im VIII. Abschnitt zu finden.

Das Generatorgas. Da auf den meisten Hüttenwerken Koksosengase bei weitem nicht in genügender Menge zur Heizung der Martinöfen zur Verfügung stehen, wird sog. Generatorgas zu diesem Zwecke in eigens dazu aufgestellten großen schachtförmigen eisernen Zylindern, den Gaserzeugern, hergestellt. Von Gasgeneratoren ist eine sehr große Anzahl der verschiedensten Bauarten in Anwendung. Gemeinsam ist allen, daß sie von oben her durch besondere Beschickungsvorrichtungen mit dem zu vergasenden Brennstoff gefüllt werden, während von unten her Luft oder Luft und Wasserdampf eingeblasen wird. Durch die bei der Verbrennung des entgasteten Brennstoffs im untern Teil des Schachtes der Generatoren entwickelte Wärme wird die in gewissen Zeitabständen immer wieder nachgefüllte Kohle im oberen Teil entgast. Die entstehenden Gase entweichen durch ein am oberen Ende des Generators angebrachtes Rohr und werden dann, oft noch nach Befreiung von Teer u. dgl., zu dem in der Nähe liegenden Martin-Werk geleitet. 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 WE, ist also sehr viel geringer als derjenige des Koksosengases.

Wärmewirtschaft. Zuerst die große Knappheit an Brennstoffen infolge der uns auferlegten ungeheuren Sachlieferungen an den Feindbund und der durch die Revolution herbeigeführten kürzeren Arbeitszeit und geringeren Arbeitsleistung, dann die Notwendigkeit, zur Er-

niedrigung der Selbstkosten den Betrieb möglichst wirtschaftlich zu gestalten, hat die Eisenhüttenwerke wie auch alle anderen Industriezweige gezwungen, sparsamste Wärmewirtschaft zu treiben, d. h. die erzeugten Wärmemengen so gut wie nur möglich auszunutzen.

Die Maßnahmen zur Hebung der Wärmewirtschaft sind sehr verschiedener Art. Sie erstrecken sich z. B. auf eine sorgsame Überwachung der Feuerungen, besonders hinsichtlich der Zusammensetzung der Rauchgase, gute Isolierung der Dampfleitungen, günstige Ausnutzung der Abgase der Dampfkessel, Winderhitzer, Puddel-, Schweiß-, Martin-, Schmiede- und Walzwerköfen und der Auspuffgase der Gasmaschinen, ferner auf die Abdampfverwertung, die Zwischendampfentnahme usw.

Alle diese Mittel lassen sich noch dadurch weit wirtschaftlicher gestalten, daß Gemeinschaftsarbeit innerhalb der einzelnen Abteilungen eines Werks und der verschiedenen Werke untereinander geleistet wird, z. B. in der Weise, daß die zu einer bestimmten Tageszeit überschüssige Energie in einer anderen Werkabteilung oder auf einem anderen Werk verwertet wird.

Von besonders großer Bedeutung für die Hebung der Wärmewirtschaft im einzelnen und im ganzen ist eine planmäßige Überwachung oder Beratung durch Wärmestellen unter Führung besonders hierfür ausgebildeter Wärmeingenieure, wie sie sowohl Einzelwerke als auch größere Konzerne und die technisch-wirtschaftlichen Vereinigungen der Eisenindustrie mit großem Erfolge für die Gesamtheit der ihnen angeschlossenen Werke eingeführt haben.

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 des uns zugänglichen Teils der Erdrinde 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 in großen Mengen abgelagerte Eisenerze in Betracht, und zwar vorwiegend gewisse chemische Verbindungen des Eisens mit Sauerstoff (Oxyde) oder mit Sauerstoff und Wasserstoff (Hydroxyde) sowie die kohlensaure Verbindung des Metalls (Eisenkarbonat), seltener die kiesel-saure (Eisensilikat).

Die Eisenerze finden sich nur ausnahmsweise in ganz geringen Mengen in nahezu chemisch reinem Zustande in der Natur, fast immer dagegen mit anderen Mineralien (Gangarten) verwachsen. Außerdem ist ihnen meist ein mehr oder weniger großer Feuchtigkeitsgehalt (Grubenfeuchtigkeit) eigen. Bei der bergmännischen Gewinnung werden sie dann weiterhin oft noch durch Teile des Nebengesteins, zwischen dem sie lagern, 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 in den meisten Fällen chemische Verbindungen von Kalk (CaO), Kieselsäure (SiO_2), Tonerde (Al_2O_3), Magnesia (MgO), Phosphorsäure (P_2O_5), verschiedenen Manganoxyden usw., deren Menge neben der sonstigen Beschaffenheit der Erze maßgebend für ihren Wert und ihre Verwendbarkeit ist.

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 28% Eisen in Deutschland gegenwärtig 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. 67) 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 verwertbaren Eisens wichtigsten Eisenerze sind der Magnet-, Rot-, Braun- und Spateneisenstein.

Magneteisenstein, Magnetit, Eisenoxydhydrat Fe_3O_4 , theoretischer möglicher Höchstgehalt an Eisen 72,4%, natürlicher Gehalt des verwerteten Erzes meist 50–68%. 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 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 (Süd-Varanger, Dunderland), dem Ural, Ungarn und außerdem an zahlreichen Stellen außerhalb Europas, besonders in den Vereinigten Staaten von Amerika und Nordafrika. In Deutschland war das kleine bei Schmiedeberg im Riesengebirge gelegene jetzt erschöpfte Vorkommen am bekanntesten.

Roteisenstein, Hämatit, Eisenoxyd Fe_2O_3 , Gehalt des chemisch reinen Minerals an Eisen 70%, natürlicher Gehalt 40–65%. Das Erz ist leicht erkennbar an dem roten Strich, den es beim Reiben auf einer rauhen weißen Porzellanplatte hinterläßt. Mächtige Lager von Roteisenstein finden sich in den Vereinigten Staaten von Amerika am Oberen See (Lake Superior), und zwar in den Staaten Minnesota, Michigan, Wisconsin, ferner am Atlantischen Ozean in Alabama. Das dortige Erz ist reich, tritt in sehr mächtigen Ablagerungen auf und liegt zum großen Teil dicht unter der Erdoberfläche, so daß es leicht und billig gewonnen werden kann. Weitere große Roteisensteinlager gibt es auf der Insel Kuba. In England wird Roteisenstein hauptsächlich in West-Cumberland und Lancashire abgebaut. 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; es wird jetzt wieder wie schon vor dem Kriege auch nach Deutschland eingeführt. Ganz hervorragend reiner Roteisenstein wird auf den Höhen des Atlasgebirges gefunden in Algier, Tunis und Marokko. 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 Dill-

gebiet neben Brauneisenstein auf. Sonstige deutsche Vorkommen von geringerem Umfang liegen im Harz, Thüringer Wald, Erzgebirge, im sächsischen Vogtlande, Westfalen (Brilon, Minden), Hannover (Dsnabrück).

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%, in natürlichem Zustande weit geringer, meist zwischen 28 und 35%. Im Gegensatz zum Roteisenstein gibt das Erz auf einer rauhen Porzellanplatte einen braunen bis hellgelben Strich. Die wichtigste Abart des Brauneisensteins ist das oolithische Erz; es besteht aus Knollen und Körnern, die durch ein kieseliges, toniges oder kalkiges Bindemittel fest verkittet sind. Das größte Vorkommen oolithischen Brauneisensteins und zugleich die größte Eisenerzlagerstätte Europas ist das zusammenhängende, in dem uns geraubten Lothringen, Luxemburg und Frankreich gelegene Minettevorkommen mit dem Mittelpunkte etwa bei dem lothringischen Dorfe Aumetz. Das Minettevorkommen bildete, wie aus dem II. Abschnitt hervorgeht, vor dem Kriege die wichtigste Quelle der deutschen Erzversorgung; jetzt wird das Erz dagegen nur noch in geringer Menge nach Deutschland eingeführt. Der Eisengehalt der Minette ist niedrig, 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. 68). Ein zweites oolithisches Brauneisenerzvorkommen von großer Bedeutung ist dasjenige von Groß-Islede (Prov. Hannover). Das dortige Erz wird wegen des Auftretens von Knollen verschiedener Größe auch als Bohnerz bezeichnet. Neben viel Phosphor enthält es Mangan. Beim Zusammenschmelzen mit geeigneten Erzen bedürfen auch die Isleder Bohnerze keines Zuschlages. Sonstige Vorkommen oolithischen Brauneisensteins finden sich am Harz (Harzburg, Salzgitter), am Teutoburger Wald, im Wesergebirge, Vogelsberge (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, Österreich-Ungarn, Griechenland und auf

der englischen Halbinsel Wales. In Deutschland tritt das Erz neben dem Roteisenstein im Lahn- und Dillgebiet auf, ferner in Bayern (Amberg), im Siegerland, bei Osnabrück und schließlich, durch Blei und Zink verunreinigt, auch in Oberschlesien, wo es bald erschöpft ist. Als kleinere Vorkommen sind noch diejenigen in Thüringen (Saalfeld, Groß-Ramsdorf, Schmalkalden) zu erwähnen.

Eine Abart des Brauneisensteins ist das phosphorhaltige Raseneisenerz (Wiesen-, Sumpf-, See-Erz), 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.

Spateisenstein (Siderit, FeCO_3), mit einem theoretischen Eisengehalt von 48,3% und einem natürlichen von meist 30–39%. Von außerdeutschen Spateisensteinlagerstätten ist diejenige in Steiermark in der Nähe von Leoben am berühmtesten. Die dortigen Erze, die schon von den alten Römern abgebaut und verhüttet wurden, zeichnen sich durch seltene Reinheit aus. Neben diesem Erzvorkommen ist das in Kärnten und Ungarn von Bedeutung. Das wichtigste deutsche Spateisenvorkommen 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, Gronau und Stadtlohn. Ist das Erz noch mit Kohle gemengt wie in Schottland, so heißt es Kohleneisenstein (blackband).

Sonstige eisenhaltige 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 Röftung der Schwefelkiese, d. h. ihrer Erhitzung unter Luftzutritt, erhaltenen Rückstände der Schwefelsäuregewinnung nennt, die im wesentlichen aus Eisenoryd 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 Rennfeuer-, Frischfeuer-, Schweiß- und Puddelschlacken,

zählen hierzu. Letztere sind wegen ihres hohen Phosphorgehalts besonders wertvoll für die Darstellung von Thomasroheisen; da sie immer seltener werden, so muß hierfür leider öfter auch ein Teil der gewonnenen Thomas- und Martinschlacken wieder im Hochofen verschmolzen werden. Endlich seien noch als eisenhaltige Rohstoffe der Konverterauswurf, der beim Bessemer- und Thomas-Verfahren aus den Birnen geschleudert wird, und gewisse Rückstände aus der Amlinfabrikation erwähnt.

Manganhaltige Eisenerze und Manganerze. 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 Veredlungsmittel, das in Form eines Zuges von Ferromangan das geschmolzene Eisen von 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 vor dem Kriege über den Hafen Poti nach verschiedenen Ländern, vor allem Deutschland ausgeführt, das im Jahre 1913 hiervon 447 000 t bezog. Weitere Manganerzvorkommen befinden sich in Britisch-Indien und Brasilien. Aus ersterem Lande wurden 1913 insgesamt 178 000 t nach Deutschland ausgeführt.

Zuschläge. Die Eisenerze sind, wie oben ausgeführt wurde, durch Mineralien verschiedenster Art (Gangarten und Nebengestein) 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 Kohle entstammende Mineralien, die nach der Verbrennung als Asche zurückbleiben. Ein Teil aller dieser mineralischen Beimengungen wird 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 flüssigen Zustand übergeführt, also geschmolzen werden, denn in festem 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 kieselsäure- und tonerdereiche Gangarten, die bei den Hochofentemperaturen eine schmelzbare Schlacke

nicht 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 Kieselsäure- 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 Schmelzpunktes 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 kalkige 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 in geschmolzenem Zustand als homogene Lösung verschiedener chemischer Verbindungen ineinander, besonders von Kalk- und Tonerdesilikaten, aufzufassen.

Vorbereitung der eisenhaltigen Rohstoffe für die Verhüttung.

Viele Erze, wie gewisse Silber-, Blei-, Zink- und Kupfererze, mit zu geringem Metallgehalt oder sonst ungeeigneter Zusammensetzung werden für die Verhüttung zweckmäßigerweise dadurch vorbereitet, daß man unter Anreicherung ihres Metallgehalts die schädlichen Bestandteile entfernt. Bei Eisenerzen ist diese Vorbereitung nur in den wenigsten Fällen mit wirtschaftlichem Erfolge durchzuführen, 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, soweit es sich um Verfahren zur Absonderung von Verunreinigungen handelt, von Aufbereitung. Hierbei unterscheidet man zwischen nasser und elektromagnetischer Aufbereitung, je nachdem die Trennung des Eisenerzes von den Gangarten oder sonstigen Mineralien auf Grund ihres verschiedenen spezifischen Gewichts mit Hilfe eines auf- und niedergehenden und zugleich fließenden Wasserstroms 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 Erz-

bezirk an, wo das in Trommelsieben von den Erzstücken abgeschiedene Feinerz von dem beigemengten Ton auf Sekmaschinen getrennt wird. Die magnetische Aufbereitung erstreckt sich hauptsächlich auf schwedischen Magnet-
eisenstein, dessen Eisengehalt dadurch von etwa 38 auf 67%, angereichert wird.

Eine andere Art der mechanischen Vorbereitung der Erze ist ihre Überführung in Stückform. In manchen Fällen sind nämlich die zu verhüttenden Eisenerze teils schon von Natur aus, teils infolge ihrer Beförderung und Umladung, oft aber auch nach der nassen oder elektromagnetischen Aufbereitung so feinkörnig, daß sie den Hochofengang sehr ungünstig beeinflussen, besonders in größerer Menge, im allgemeinen wohl schon bei mehr als 12% der Beschickung. Sie rollen dann 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 teilweise von den unter Druck und mit großer Geschwindigkeit den Hochofen durchfließenden Gasen mitgerissen und als sog. Gichtstaub entführt, der auf umständliche Weise wieder aus diesen entfernt werden muß, weil staubhaltiges Gichtgas für gewisse Zwecke geradezu unbrauchbar ist.

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 Bricketieren 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 Erzbricketts erfolgt in Pressen entweder lediglich unter Anwendung sehr hohen Drucks oder bei geringerem 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 Erzbricketts 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 „Drehrohrröfen“ 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 bricketiert und agglomeriert. Die Erz- und Gichtstaubbricketts müssen neben großer Widerstandsfähigkeit gegen Zerdrücken oder Zerreiben im Hochofen auch eine gewisse Porosität haben, damit die Reduktionsgase im Hochofen leicht in ihr Inneres eindringen können. Ferner dürfen sie nicht Bindemittel enthalten, die den Hochofenprozeß ungünstig beeinflussen.

Außer der mechanischen gibt es auch eine chemische Vorbereitung vor der Verhüttung, wie sie u. a. die Siegerländer Spateisensteine zu einem größeren

Teile erfahren. Diese aus kohlen-saurem Eisen (Eisenkarbonat FeCO_3) bestehenden Erze werden nämlich in unmittelbarer Nähe der Erzgrube in einfachen Schachtföfen geröstet, d. h. bei Luftzutritt erhitzt, wobei die Kohlen-säure, gleichzeitig auch Wasser und etwas Schwefel entweichen und ein Eisen-oryd (Kostspat) zurückbleibt. Mit dem Kostspat werden die nur Sieger-länder Erz verarbeitenden Hochöfen zu zwei Dritteln beschickt, während das übrige Drittel aus „Rohspat“, also ungeröstetem Erz besteht, so daß der Hoch-Ofen von dieser Röstarbeit teilweise entlastet und dadurch in seinem Gange günstig beeinflusst wird. Auch erhalten die Gichtgase dann einen höheren Heizwert, weil sie ärmer an Kohlen-säure und Wasser sind als bei Ver-hüttung nur ungerösteten Erzes. Da das Gewicht des Erzes durch die Röstung um etwa 30% vermindert wird, sind schließlich auch die Beförderungskosten des Erzes, auf den Eisengehalt bezogen, viel geringer.

Die Darstellung des technisch verwertbaren Eisens.

VIII. Allgemeines über die Darstellung.

Die Rohstoffe für die Darstellung aller technisch verwertbaren Eisen-sorten sind, wie aus dem vorigen 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 Metallsauerstoffverbindung in das Metall oder in eine sauerstoffärmere Verbindung des Metalls heißt Reduktion. Das erste metallurgische Verfahren zur Darstellung des technisch verwertbaren 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 verhält-nismäßig niedrigen Temperaturen vom Sauerstoff befreit werden, z. B. diejenigen des Goldes, Silbers und Quecksilbers. Für andere Metall-oryde — und dazu gehören auch diejenigen des Eisens — kommt da-gegen 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 Vereinigungsbestreben zum Sauerstoff haben als 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 Enderzeugnis 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 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 daher darin, alle diese Elemente zu einem mehr oder weniger großen Teil wieder daraus zu entfernen. Dies geschieht vorwiegend durch Drydation, 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 Legierungsbestandteilen zu Gasen oder Schlacken, so daß neben diesen ein Eisen mit geringen Mengen an Fremdstoffen, also ein schmiedbares Eisen (Stahl), als Enderzeugnis erhalten wird. Dabei gelangt meist zu viel Sauerstoff in das Eisen, der als Schädling von neuem daraus zu entfernen ist, während gleichzeitig oft Kohlenstoff über das erforderliche

Maß hinaus verbrannt wird und deshalb wieder ersetzt werden muß. Man schießt also sowohl beim Hochofenprozeß als auch bei den Frischverfahren gewissermaßen über das gesteckte Ziel hinaus, indem man zuerst bei der Reduktion des Erzsauerstoffs eine zu große Menge von Legierungsbestandteilen in das Eisen hineinbringt und dann bei ihrer teilweisen Entfernung mit Hilfe von Sauerstoff von diesem schädlichen Element wieder so viel hineingelangen läßt, daß seine erneute Vertreibung erforderlich wird.

Diese Art der Darstellung des Eisens erscheint recht umständlich und kostspielig; trotzdem ist sie bisher allein wirtschaftlich geblieben. Alle Versuche, unmittelbar aus dem Erz gleich das schmiedbare Endzeugnis von der richtigen chemischen Zusammensetzung im großen herzustellen, sind gescheitert. Die gegenwärtig gebräuchlichen Verfahren zur Entfernung eines Teils der Legierungsbestandteile aus dem im Hochofen gewonnenen Roheisen, also zur Umwandlung von Roheisen in schmiedbares Eisen, die sog. Frischverfahren, sind in der Hauptsache das Thomas-, Bessemer- und Siemens-Martin-Verfahren, in geringerem Umfange auch das alte Puddelverfahren und das Glühfrisch- oder Temperverfahren. Durch die drei zuerst genannten Verfahren erhält man aus Roheisen das nahezu schlackenfreie Flußeisen in flüssigem Zustande, durch das Puddelverfahren das schlackenhaltige Schweißisen in halbgeschmolzenem Zustande und durch das Glühfrischen den sog. schmiedbaren Guß oder Temperguß in festem Zustande. Zur Erzeugung sehr hochwertigen Flußeisens dienen in Ergänzung der genannten Frischverfahren das Tiegelstahl- und das Elektrostahlverfahren, die man ebenso wie das Martin-Verfahren oft noch dazu benutzt, das flüssige Eisen zur Erzielung bestimmter Eigenschaften mit Elementen wie Nickel, Chrom, Wolfram oder Molybdän zu legieren.

Die Verfahren zur Entfernung des beim Frischen in übergroßer Menge in das Eisen gelangten Sauerstoffs und zur Ersetzung des zu reichlich verbrannten Kohlenstoffs, die Desoxydations- und Kohlungsarbeiten, schließen sich allen obengenannten Frischverfahren an.

IX. Die Darstellung des Roheisens.

Der Schmelzvorgang im allgemeinen. Die Darstellung des Roheisens erfolgt in einem Hochofen (vgl. die Beschreibung auf S. 76), in den von oben her Eisenerze und Zuschläge abwechselnd mit Koks

(selten Holzkohle) gefüllt werden, während unten in den Ofen erhitzte Luft, der Wind, geblasen wird. Durch diese verbrennt der Brennstoff zu Kohlenoxydgas, das zusammen mit den übrigen sich bildenden Gasen in dem Ofen hochsteigt, während Erze, Zuschläge und Brennstoffe dem Gasstrom entgegen abwärts sinken. Beim Herabsinken wird das Erz durch Kohlenoxyd und festen Kohlenstoff zu metallischem Eisen reduziert, das vorwiegend in der tief gelegenen 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 abgeleitet 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 erörtern 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 um so 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 ist im wesentlichen also Wärmeübertrager, der die im untersten Teil des Ofens

nur aufgenommene Wärme ebenso wie die übrigen im Hochofen hochsteigenden Gase wieder an die entgegendrückende Beschickung abgibt, ohne an den chemischen Vorgängen teilzunehmen. Ähnliches gilt vom Einfluß des Wasserdampfs der Luft, der nur dann Störungen im Ofengang hervorruft, wenn er oft und stark schwankt.

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 Luftfläule 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 Hingange 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 Rücklauf 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 1500000 cbm Luft mit einem Gewicht von 1950 t verbrauchen würde, also fast das Vierfache des in der 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 sowie andere den Hochofengang günstig beeinflussende Vorteile. Die Vorwärmung des Windes auf Tempera-

turen von 600—800° C erfolgt in den sog. Winderhizern. Der fast auf allen Eisenhüttenwerken als Winderhizer benutzte Comper-Apparat, den die Abb. 3 und 4 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 Verbrennungsschacht *a*, der Kuppel *b* und dem Gitterwerk *c*. Die Ausmauerung sowohl wie auch das Gitterwerk sind aus feuerfesten Steinen aufgebaut.

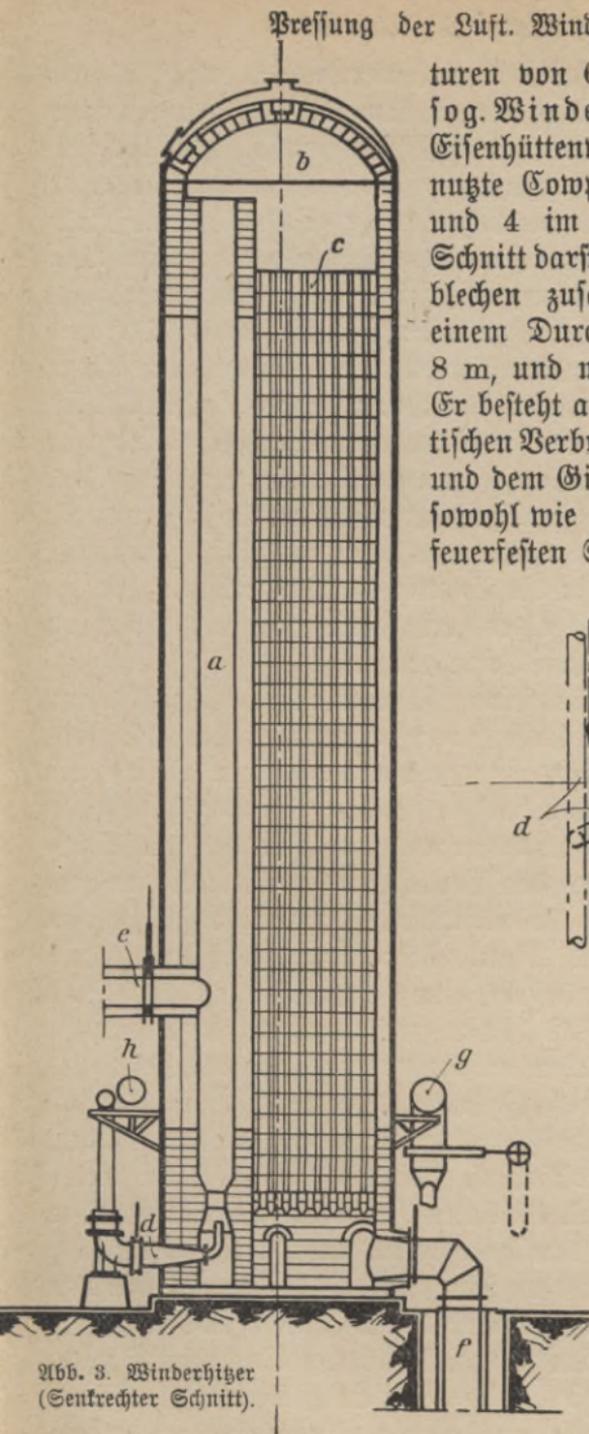


Abb. 3. Winderhizer
(Senkrechter Schnitt).

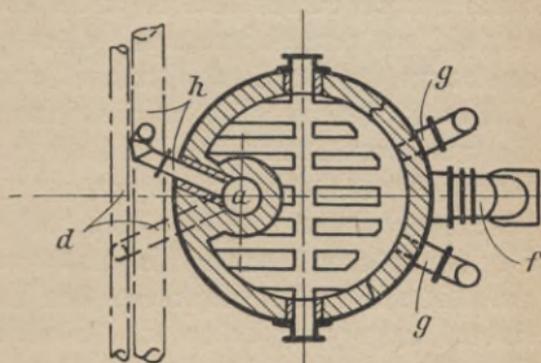


Abb. 4. Winderhizer
(Wagerechter Schnitt).

Das vom Gichtstaub befreite Hochofengas strömt durch die Rohrleitung *d* in den Verbrennungsschacht *a*, in dem es sich mit der durch den geöffneten Schieber *e* eindringenden Luft mischt, um im Schachte zu verbrennen. In der Kuppel *b* breitet sich das heiße Verbrennungsgas

aus, streicht dann abwärts durch das Gitterwerk *c*, erhitzt es auf 800—900° und geht, nachdem es seine Wärme an die Steine abgegeben hat, durch die Rauchkammer und das Abzugsrohr *f* zum Schornstein. Nach einer gewissen Zeit, etwa zwei Stunden, werden Gasventil, Luftschieber sowie die Klappe zum Abzugsrohr geschlossen und Kaltwind- sowie Heißwindschieber geöffnet. Nun strömt der gepresste kalte Gebläsewind durch die Rohrleitungen *g* ein, erhitzt sich beim Hochsteigen im Gitterwerk *c* an den heißen Steinen auf 600 bis 800° und mehr und verläßt den Cowper-Apparat durch die Rohre *h* um hierin 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 (Pfoser-Strack-Stumm-Verfahren).

Der Hochofen. Der wegen seines schachtähnlichen Profils zur Gattung der Schachtofen gehörige Hochofen zeichnet sich, wie sein Name schon andeutet, gegenüber anderen metallurgischen Öfen durch seine große Höhe aus, die ohne das zugehörige Eisengerüst mit den Begichtungseinrichtungen bis zu 30 m und darüber beträgt. Während die meisten Metallhochöfen das Profil eines mathematischen Zylinders aufweisen, haben die Eisenhochöfen für gewöhnlich das in Abb. 5 veranschaulichte Profil. Man ersieht daraus, daß der eigentliche Hochofen aus drei Teilen besteht, dem Schacht *a*, der Raft *b*, und dem Gestell *c*. Schacht und Raft 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 Raft zusammenstoßen, Kohlensack. Der Kohlensack 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 Raft für gewöhnlich am Tragkranz hängt. Auf diese Weise sind Raft 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 Hülzen 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 Winderhizern zunächst in ein großes, mit feuerfestem Material ausgemauertes Rohr (o), das rings um den Ofen läuft. Von hier aus wird er mittels des sog. Düsenstocks (i), der in den einzelnen Düsen endet, auf die Formen gleichmäßig verteilt und tritt dann durch sie in den Ofen. Die Anzahl der Formen

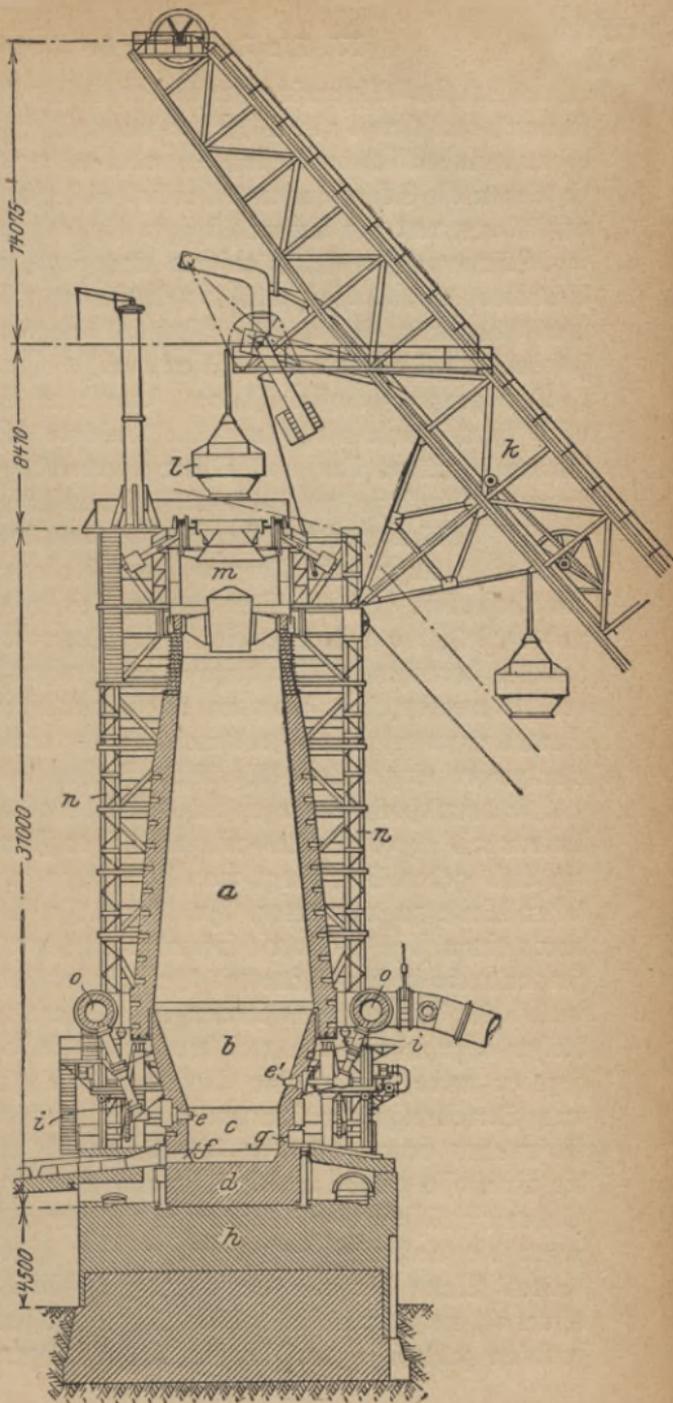


Abb. 5.

Hochofen (Sentrachter Schnitt.)

a Schacht, b Rast, c Gestell, d Bodenstein, e Windeintritt (Düsen und Form), e' Notwindform (nur bei Betriebsstörungen in Verwendung), f Stichloch (Rohrleitungsabstich), g Schlackenform (Schlackenausfluß), h Fundamentmauerwerk, i Düsenstock, k Sichtaufzug (Schrägaufzug), l Förderkubel mit Beichung, m Sichtverschluß, n Hochofengerüst, o Windleitung (Windfranz).

richtet sich im allgemeinen nach der Größe des Gestellumfangs und schwankt zwischen 4 und 16, selten mehr. Dicht unterhalb der Formenebene befinden sich im Gestell eine oder mehrere Öffnungen (*g*), die dazu dienen, die Schlacke ununterbrochen abfließen zu lassen. Sie sind, um das Mauerwerk vor der gutflüssigen Schlacke zu schützen, stets mit der sog. Lürmannschen Schlackenform ausgefetzt, 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 sowie Kasten und Gestell, wo teilweise die hohen Temperaturen von 1600° und darüber 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.

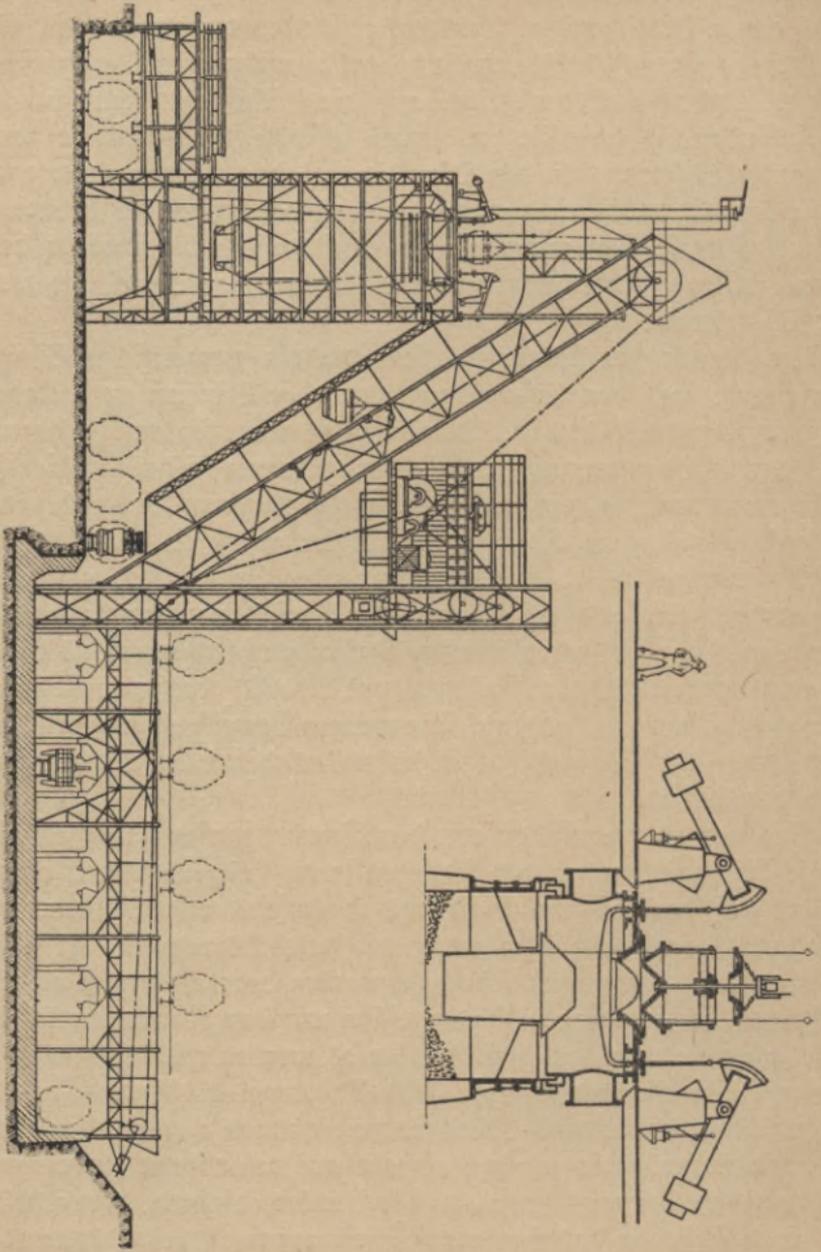
Die beim Hochofenprozeß sich bildenden Gase, die man früher aus Unkenntnis ihres Wertes mit mächtiger Flamme aus der Gicht in die Luft gehen ließ, fängt man heutzutage auf, um sie in wirtschaftlicher Weise zu verwerten. Zu diesem Zwecke ist der Hochofen oben durch einen sog. Gichtverschluß abgedeckt, 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 abzuziehen. Da auf der Gicht die Beschickung in den Ofen gegeben wird, müssen die Gichtverschlüsse gleichzeitig als Aufgabeb- und Verteilungsvorrichtungen hierfür eingerichtet sein, welche die Gase auch dann nicht an die Außenwelt entweichen lassen, wenn die Rohstoffe gerade in den Ofen eingebracht werden. Daher sind die Gichtverschlüsse stets als Schleusen ausgebaut, deren oberer Verschluß gegen 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. Diese Forderung erfüllen zahlreiche, verschiedene Ausführungen von doppelten Gicht-

verschlüssen. Bei dem in Abb. 5 dargestellten Hochofen, der mit einer selbsttätigen Kübelbegichtung versehen ist, besteht der Sichtverschluß aus einem freisförmigen Trichter, gegen den von unten durch Gewichte mit Hilfe einer Hebelübertragung ein kegelförmiger Verschluß gedrückt wird. Sobald sich der Kübel auf die Sicht setzt, senkt sich der lose Kübelboden, so daß die im Kübel befindlichen Rohstoffe den Kegel herunterdrücken und in den Ofen hinabgleiten. Kennenswerte Gasverluste können dabei nicht entstehen, weil der Kübel durch einen Deckel verschlossen ist. Das unterhalb des Sichtverschlusses inmitten des Hochofens sichtbare Rohr sorgt für eine gleichmäßige Verteilung der Stoffe im Ofeninnern.

Um die großen Rohstoffmassen, die ein neuzeitlicher Ofen täglich verschluckt, aus den Eisenbahnwagen oder Schiffen zu entladen oder vom Erzbergwerk, dem Kalksteinbruch oder der Kokerei heranzuschaffen und zur Sicht emporzuheben, sind ausgedehnte leistungsfähige Förderanlagen notwendig, für die heutzutage fast immer der durch seine große Wirtschaftlichkeit und Anpassungsfähigkeit ausgezeichnete elektrische Antrieb bevorzugt wird. Die Entladung des Erzes z. B. aus den Eisenbahnwagen erfolgt durch Rippen oder bei Selbstentladern durch Öffnen der Verschlüsse entweder unmittelbar in große Bunker aus Eisenbeton von mehreren 1000 cbm Fassung (vgl. Abb. 6) oder zu großen Vorrats- haufen auf dem Haldenplatz. Die weitere Verteilung hierselbst oder die Entladung der Schiffe besorgen hohe Verladebrücken mit Greiferkränen und dergleichen.

Aus den Bunkern oder von den Vorratshaufen gelangen die Rohstoffe bei manchen neueren Anlagen in die Wagen einer Elektrohängebahn, auf der sie zur Sicht des Hochofens emporfahren, um dort wiederum mechanisch oder von Hand durch Rippen entleert zu werden. Bei andern neuzeitlichen Hochofenwerken werden große an Schrägaufzügen hochziehende Fördergefäße mit den Rohstoffen durch kleine Fördergefäße oder dgl. gefüllt, oder es werden wie bei dem in Abb. 6 dargestellten Hochofen große Kübel verwendet, die bis zu 12 cbm Rauminhalt haben und dabei die weiter unten angegebenen Gewichtsmengen fassen. Sie werden einzeln auf besonderen Zubringertwagen unter die Entleerungsöffnungen der Bunker gefahren, dort gefüllt, dann an das Fußende des Hochofen-Schrägaufzuges befördert und hieran durch einen elektrischen Förderhaspel bis über die Sicht emporgezogen, wo die Entleerung in der oben angegebenen Weise erfolgt. Darauf

Abb. 6. Hochofen mit Ergüßunter und Stibselbegießung.

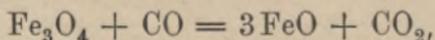
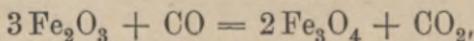


wird der entleerte Kibel wieder am Aufzug heruntergelassen und ein neugefüllter tritt zu gegebener Zeit an seine Stelle. Für diese Art der Begichtung ist nur ein einziger Mann am Förderhaspel erforderlich, während sämtliche Bedienungsmannschaften auf der Gicht in Fortfall kommen.

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 beschriebenen Fördervorrichtungen dem Hochofen zugeführt werden. Das Erz nebst Zuschlägen, der Möller, wird abwechselnd mit dem Brennstoff in den Hochofen gegeben. Die auf einmal in den Ofen gefüllte Menge an Erz und Zuschlägen nennt man eine Erzgicht, während die darauf folgende Brennstoffmenge, sofern es sich um Koks handelt, eine Koks-gicht genannt wird. Bei großen Öfen beträgt eine Erzgicht bis zu 15 000 kg, eine Koks-gicht bis zu 7000 kg. Man rechnet auf 1 t erzeugten Roheisens (gewöhnliche Sorten, nicht Sonderlegierungen) je nach seiner Zusammensetzung etwa 0,9—1,3 t Koks. Das Mengenverhältnis zwischen Erz, Zuschlag und Koks wird an Hand theoretischer Berechnungen auf Grund der chemischen Analysen dieser Stoffe festgestellt. Während man früher bei den damals verhältnismäßig kleinen Hochöfen zur Vermeidung von Schwankungen in der Zusammensetzung des Erzes, die empfindliche Störungen hervorrufen konnten, auf besonderen Plätzen eine sorgfältige kostspielige Möllerung, d. h. Durchmischung von Erz und Zuschlag durchführte, sieht man heute hiervon ganz ab, da die neuzeitlichen Riesenöfen infolge ihres größeren Wärmeverrats weit weniger darunter leiden. 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.

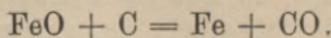
Im obersten kältesten Teil des Ofenschachtes wird bei Temperaturen der Gase von etwa 250—400° der Feuchtigkeitsgehalt der Rohstoffe verdampft. Sodann setzt bald der Hauptvorgang im Hochofen, die Reduktion der Eisenerze, ein, und zwar zunächst innerhalb des Schachtes und der oberen Raft die mittelbare oder indirekte Reduktion

durch das aus dem verbrennenden Koks entwickelte Kohlenoxydgas und dann in den heißesten Theilen des Ofens, nämlich der unteren Kasten und dem Gestell, die unmittelbare oder direkte Reduktion durch den glühenden festen Kohlenstoff des Koks. Die indirekte Reduktion, die weit oben im Schacht unter Umständen schon 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 aus später angeführten Gründen 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 Dxyd (Ferriferrooxyd, Fe_3O_4), dieses in Dxydul (Ferrooxyd, FeO) und das Dxydul endlich in metallisches Eisen (Fe) verwandelt, etwa nach den Gleichungen:



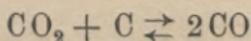
Im übrigen verhalten sich die Erze und sonstigen eisenhaltigen Rohstoffe gegenüber der indirekten Reduktion sehr verschieden. Einige, wie z. B. stückige Brauneisenerze, gerösteter Spateisenstein und Kiesabbrände, werden in der bei weitem größten Menge durch Kohlenoxyd reduziert, andere, wie geröstete Magneteisenerze, mulmige, d. h. feinkörnige Brauneisenerze, ungeröstete Spate, etwa nur zur Hälfte, ungeröstete Magneteisenerze, Puddel- und Schweißschladen 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 Kasten und im Gestell übernehmen. Hierbei wird weit mehr Brennstoff wie bei der indirekten Reduktion verbraucht, so daß man darauf bedacht sein muß, diese nach Möglichkeit zu fördern. Im Gegensatz dazu bildet sich bei der direkten Reduktion in der unteren Kasten 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 Kohlensäure 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 Kaste und im Gestell schmilzt, wo Temperaturen bis zu 1600° und mehr herrschen. Hier wird gleichzeitig auch die in zwischen entstandene Schlacke geschmolzen. Eisen und Schlacke sammeln sich im unteren Teile des Gestells an, und zwar die Schlacke infolge ihres geringen spezifischen Gewichts über dem Eisen. Zwischen den Bestandteilen dieser beiden flüssigen Stoffe finden übrigens auch noch die verschiedensten Reaktionen statt.

Die Gase, die den im Hochofen abwärts sinkenden festen Stoffen von unten her entgegensteigen, machen folgenden Entwicklungsgang durch. Die in den Winderhitzern vorgewärmte Luft stößt vor den Düsen der Formen, also innerhalb der Formenebene des Gestells, unmittelbar auf den glühenden Koks. Dabei verbrennt der Koks, d. h. fein 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 Kohlendioxyd oder Kohlensäure (CO₂) kann nicht stattfinden, weil Kohlensäure in Gegenwart von Eisenoxyd 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 Kohlensäure stattfinden, sondern nur eine direkte durch Kohlenstoff unter Bildung von Kohlenoxyd (s. die letzte Reduktionsgleichung auf S. 82). Das hochofengehitze 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 ganzen Vorgangs, wie schon erwähnt, nur zum allergeringsten Teil an den 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 auf S. 82), so daß der Gasstrom, je höher er steigt, sich desto mehr an Kohlenensäure anreichert. Diese Kohlenensäure wird noch vermehrt durch diejenige, welche aus den Karbonaten, also den ungerösteten Spateisensteinen, den Kalken und Dolomiten, austritt. Die Anreicherung des aufsteigenden Gasstromes an Kohlenensäure ist übrigens nicht allein eine Folge der Reduktionsvorgänge und der Zersetzung der kohlen-sauren Verbindungen; die Erscheinung würde vielmehr auch ohne dies zu beobachten sein, weil die oben bereits angeführte umkehrbare Gleichung $\text{CO}_2 + \text{C} \rightleftharpoons 2 \text{CO}$ mit sinkenden Temperaturen in immer stärkerem Maße in der Richtung von rechts nach links verläuft, mit anderen Worten: das Kohlenoxyd spaltet sich bis zu einer gewissen Temperaturgrenze in immer größerem Umfange in Kohlenensäure 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 zur Kohlung des reduzierten Eisens, vielleicht auch zur direkten Reduktion bei. Trotz der ständigen Zunahme des Kohlen-säure- und Abnahme des Kohlenoxyd-gehalts 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 bis zur Erreichung eines bestimmten Gleichgewichts umkehrbar sind, also z. B. $\text{FeO} + \text{CO} \rightleftharpoons \text{Fe} + \text{CO}_2$. Wäre danach ein zu hoher Gehalt an Kohlen-säure und dementsprechend ein zu geringer an Kohlenoxyd im Gasstrom, 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 Kohlen-säure reduziert werden, sondern die Kohlen-säure 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. die Erhöhung der Ofen). Heute weiß man, daß alle derartigen Versuche vergeblich sein müssen, und benutzt dafür das nicht zur Reduktion ausgenutzte im Gichtgas entweichende Kohlenoxyd außerhalb des Hochofens zu den verschiedensten Zwecken.

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, von Phosphor dagegen fast der gesamte Gehalt. Der so gefährliche Schwefel wird z. T. an den Kalk und das Mangan der Schlacke gebunden, immerhin lösen sich im Eisen noch verhältnismäßig große Mengen des Elements auf, die erst bei 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.

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 ist, worauf das Roheisen in glühendem 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.

Der Leiter eines Hochofenwerks muß zur Vermeidung ernster Betriebsstörungen sorgfältig darauf bedacht sein, daß der Wärmeverrat

seiner Öfen niemals unter ein gewisses Mindestmaß sinkt. Dieser Fall kann z. B. bei zu schweren Erzfläzen eintreten, d. h. wenn zu viel Erz im Verhältnis zu Koks aufgegeben wird, ferner bei zu schneller oder ungleichmäßiger Begichtung oder Eindringen von Kühlwasser in das Ofeninnere. Infolge des hierdurch hervorgerufenen Mangels an Wärme wird nicht alles Eisen aus dem Erz reduziert, so daß man statt einer hellfarbenen eine dunkle eisenhaltige Schlacke erhält. Dieser mit „Kohgang“ bezeichnete Krankheitszustand des Ofens (im Gegensatz zum regelmäßigen „Gargang“) läßt sich meist erst nach längerer Zeit dadurch beseitigen, daß man ihm leichtere Kost gibt, indem man den Erzatz verringert. Auch tut dem Ofen in diesem Falle viel Wärme gut, die durch Erhöhung des Koksatzes und der Windtemperatur erzielt werden kann. Noch sonstige Störungen, wie Eisen- und Schlackendurchbrüche im Gestell, Stauungen der niedergehenden Gichten in Schacht und Rast, das sog. Hängen, mit seinen verderblichen Folgen wie plötzlichem Niederbrechen der Beschickungssäule, Explosionen im Ofeninnern, Auswerfen der Beschickung aus der Gicht, Emporheben des Gichtverschlusses usw. können schwere Beschädigungen des Betriebes hervorrufen.

Bei längeren Streiks, Wagenmangel, Ausbleiben des Koks u. dgl. kann es notwendig werden, daß ein Hochofen außer Betrieb gesetzt, oder, wie man sich fachmännisch ausdrückt, gedämpft wird. Man gibt dann statt der gewöhnlichen Beschickung vorwiegend Koks auf, stellt, nachdem der ganze Ofen damit angefüllt ist, Wind und Kühlwasser ab und gibt dem Ofeninhalt einen luftdichten Abschluß. Das dauernde Stillsetzen oder Niederblasen, sowie das Inbetriebsetzen oder Anblasen eines Hochofens erfordern wochenlange Arbeiten, deren Beschreibung hier zu weit führen würde.

Roheisendarstellung im elektrischen Hochofen. Die Darstellung des Roheisens im elektrischen Hochofen ist in größerem Maßstabe mit wirtschaftlichem Erfolge nur in solchen eisenerreichen Gegenden durchzuführen, in denen elektrische Energie durch Wasserkräfte billig zu erzeugen und guter Hochofenkoks infolge Fehlens geeigneter Kohlenvorkommen zu angemessenen Preisen nicht zu erlangen ist. Daher hat man z. B. in Schweden (Domnarveta am Trollhättan und in Odöda) mit elektrischen Hochofen recht günstige Erfahrungen gemacht.

Während beim Kokshochofen die zur Reduktion und Schmelzung nötige Wärmemenge durch chemische Umsetzung (Verbrennung) entsteht, wird sie beim elektrischen Hochofen durch die auf S. 112 erwähnte in das Gestell eingebaute elektrische Lichtbogenheizung erzeugt. Bei der elektrischen Roheisendarstellung fällt daher der Koks zur Wärmeerzeugung fort, also etwa $\frac{2}{3}$ der gesamten im Kokshochofen erforderlichen Koks menge, während der Rest von $\frac{1}{3}$ noch zur Reduktion und Kohlun g 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 metallurgischen Vorgänge im Elektrohochofen weichen von denen des Blashochofens nicht unerheblich ab. Infolgedessen sind auch Gestalt und Abmessungen der beiden Ofenarten recht verschieden. Bei einer Tageserzeugung von nur etwa 20 bis 50 t verbraucht der Elektrohochofen je Tonne Roheisen im Durchschnitt 2300 KWst. Das erhaltene Gichtgas ist reich an Kohlenoxyd und wird daher zu $\frac{1}{3}$ seiner Menge nach vorhergegangener Kühlung wieder in das Gestell des Ofens eingeführt, um bei der Reduktion des Erzes weiter mitzumirken. Das Gas hat etwa 2200 WE, ist also viel wertvoller als das vom Blashochofen erzeugte.

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, manganarmes Gießereiroheisen, während man für den Bessemer-Prozeß ein hochsiliziertes, sehr phosphorarmes, für das Thomas-Verfahren ein sehr phosphorreiches, für den Martin-Prozeß 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 Veränderung des Koksfaßes sowie der Windtemperatur und -pressung 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	1,5—2	1,5—3	0,07—0,09
Puddelroh Eisen . . .	weiß	2,0—4,0	0,2—1,5	1,5—5,0	0,2—1,0
Thomasroh Eisen (Rheinl.-Westf.) . .	"	2,8—4,0	0,4—1,5	1,0—2,0	1,0—2,5
Thomasroh Eisen (Lothringen)	"	2,8—3,5	0,4—1,0	0,3—1,5	1,7—2,0
Martinroh Eisen . . .	"	3,0—4,0	0,6—2,5	1,5—4,5	0,2—0,3
Stahl Eisen	"	3,0—3,5	0,2—0,8	4,0—8,0	0,07—0,09
Spiegeleisen	"	4,0—5,5	0,3—1,0	10—20	0,06—0,1
Ferromangan	"	5,5—7,5	0,2—1,3	20—80	0,3—0,4
Ferrosilizium	grau	0,8—3,0	8—17	0,6—1,5	0,07—0,2
Siliziumspiegel . . .	weiß	1,0—1,5	12—14	19—23	0,07—0,2

Die Schlacke. Neben dem Roheisen wird beim Hochofenbetrieb, wie schon erwähnt, Schlacke gewonnen, die der Hochofener früher einfach auf die Halde stürzte und als lästiges Nebenerzeugnis betrachtete, da ihre Beförderung und Lagerung hohe Kosten und wertvollen Platz beanspruchte. Wie schnell eine Schlackenhalde anwächst, läßt sich leicht ausrechnen, wenn man bedenkt, daß auf 1 t erzeugten Roheisens durchschnittlich 1 t Schlacke entfällt, die etwa den dreifachen Raum des Eisens einnimmt. Heute hat die Schlacke große wirtschaftliche Bedeutung, da man gelernt hat, sie nicht nur im Rohzustande unmitttelbar zu verwerten, sondern auch zu wertvollen Erzeugnissen zu verarbeiten. Entsprechend der abweichenden Zusammensetzung der jeweils verhütteten Erze, Zuschläge und Brennstoffe sowie dem jeweiligen Gange des Hochofens haben naturgemäß auch die Schlacken sehr verschiedene chemische Zusammensetzung. Als Beispiel mögen folgende Durchschnittsanalysen von Schlacken im Ruhrbezirk erschmolzener Gießerei- und Thomasroh Eisensorten dienen: 30—36% Kieselsäure (SiO_2), 10—13% Tonerde (Al_2O_3), 0,5—1,5% Eisenoxydul (FeO), 0,3—4,5% Manganoxydul (MnO), 39—47% Kalk (CaO), 1,8—4,5% Magnesia (MgO) und 1,5—4,5% Schwefelkalzium (CaS).

Die aus dem Hochofen abfließende Schlacke wird entweder in glutflüssigem Zustande in verschiedenen dem Verwendungszwecke angepassten Gefäßen und Formen zur Erstarrung gebracht oder sie wird durch Berührung mit bewegtem Wasser, einem Luftstrom oder Dampf gekörnt (granuliert), d. h. in mehr oder weniger feinkörnigen Sand verwandelt. Die in große fahrbare Gefäße gefüllte glutflüssige Schlacke kippt man entweder vor oder nach der Erstarrung — im letzteren Falle nennt man sie Kloßschlacke — auf die Halde, um sie dort liegen zu lassen oder aber die Klöße mit Hilfe von Steinbrechern zu zerkleinern und die Stücke in verschiedene Korngrößen zu tren-

nen. Die größeren werden, besonders wenn sie kalkarm und fest sind, als Betungs- und Packungsmaterial für Straßen und Eisenbahnen verwendet, die kleineren als Zusatz zu Beton und Eisenbeton. Auch zu Pflastersteinen kann man die glühende Schlacke verwenden, falls sie eine hierfür geeignete Zusammensetzung hat. Man läßt sie dann einfach in entsprechende Formen fließen und möglichst langsam abkühlen.

In weit größerem Umfange läßt sich die gekörnte Schlacke verwenden und zwar zur Aufschüttung von Wegen und Dämmen, zum Verfaß, d. h. zur Füllung der Hohlräume, die in der Erde durch die bergmännische Gewinnung eines Minerals, z. B. Steinkohle, entstanden sind, ferner als Mauer- und Zuschlag zu Beton und schließlich zur Herstellung von Schlackenbausteinen, Hochofenschwemmsteinen und insbesondere verschiedenen Zementarten.

Die Schlackenbausteine werden durch Ziegelung eines Gemisches grob gemahlener gekörnter Schlacke mit gebranntem Kalk, auch fein gemahlener Kiesel- oder Kalkschlacke mit gekörnter Schlacke hergestellt, im ersteren Falle durch Härtung an der Luft, im letzteren durch solche mit Kohlensäure, die aus Abgasen von Winderhitzern und dgl. stammt. Die Hochofenschwemmsteine dagegen erhält man dadurch, daß kieseläurereiche Schlacke in heißem Wasser durch eingelassene Preßluft in sog. Schaum- oder Kiesel- oder Kalkschlacke verwandelt und nach Mischung mit Schlackenzement (s. unten) zu Leichtsteinen geformt wird, die zunächst in einer Kammer unter Dampfswaden, dann im Freien zum Abhärten gebracht werden.

Die größte Bedeutung hat die gekörnte Schlacke für die Zementherstellung. Unter Zement versteht man ein aus anorganischen Stoffen hergestelltes, vorwiegend aus Kalk, Kieselsäure und Tonerde in verschiedensten Verhältnissen bestehendes, staubfein gemahlenes Pulver, das mit Wasser angerührt nach kurzer Zeit unter chemischer Bindung von Wasser steinhart wird. Die Zemente gehören zur Gattung der sog. Wassermittel oder hydraulischen Bindemittel, die sowohl an der Luft als auch unter Wasser erhärten. Ihre Erhärtungsfähigkeit beruht auf der Entstehung von Kalksilikaten und Kalkaluminaten.

Die Zemente teilt man ein in solche, bei deren Herstellung der Rohstoff vor dem Brennen durch sorgfältiges Mahlen oder Schlämmen zu feinsten Mischung vorbereitet wird und solche, bei denen diese Vorbereitung nicht stattfindet. Zur ersten Gruppe zählen der Portlandzement, der Eisenportlandzement, der aus einem innigen Gemisch von höchstens 30 % Hochofenschlacke und mindestens 70 % Portlandzement besteht, und der Hochofenzement, der im Gegensatz zu dem vorhergehenden vorwiegend aus Hochofenschlacke und einem geringeren Gewichtsanteil Portlandzement (mindestens 15 bis zu 40 %) zusammengesetzt ist. Für diese drei Zementarten sind ausführliche Normen aufgestellt, die bei ihrer Herstellung, Verwendung und Prüfung sorgfältig zu beachten sind.

Zur Herstellung des Portlandzements können die verschiedensten kalkhaltigen Rohstoffe (Kalkstein, Kreide, Wiesenalk) in geeigneter Mischung mit tonhaltigen (Ton, Mergel, Diabas, Dioritschiefer, Hochofenschlacke u. a.) benutzt werden. Sie werden unter sorgfältiger Beachtung innigster Mischung

naß oder trocken vermahlen und dann entweder geziegelt in Schachtföfen oder in Drehföfen zu einer harten Masse (Klinker) bis zur Sinterung (beginnenden Schmelzung) gebrannt. Der Klinker wird dann zu feinstem Pulver vermahlen, das den Portlandzement darstellt.

Von den zur zweiten Gruppe zählenden Zementen, zu denen die Naturzemente, Romanzemente, hydraulischen Kalk und Schlacken- oder Puzzolanzemente gehören, werden nur die letzteren aus einem Hochofenerzeugnis hergestellt, nämlich aus feingemahlener basischer Hochofenschlacke, die mit zu Staub gelöschtem Weißkalk oder hydraulischem Kalk innig vermischt wird.

Das Hochofen- oder Gichtgas. Auch das dritte wichtige Erzeugnis des Hochofens, das Gichtgas, dessen Zusammensetzung bereits auf S. 61 erwähnt worden war, wird zu den verschiedensten Zwecken verwendet. Früher ließ man es achtlos in die Luft entweichen und vergeudete dadurch überaus große Werte, denn wenn die Gichtgase auch verhältnismäßig arm an brennbaren Bestandteilen sind und daher nur den geringen Durchschnittsheizwert von 800—900 WE je cbm haben, so sind anderseits die gelieferten Mengen außerordentlich groß. Man kann auf 1 t erzeugten Roheisens im allgemeinen 5000 cbm Gichtgas rechnen, so daß auf einen einzigen großen Hochofen von 400 t eine tägliche Gichtgaserzeugung von 2 Mill. cbm mit der gewaltigen Wärmemenge von 1600 bis 1800 Mill. WE entfallen würde.

Die Gichtgase werden sowohl zu Heiz- als auch zu motorischen Zwecken verwendet, und zwar vornehmlich zur Heizung von Winderhitzern, ferner auch von Trocken-, Koks-, Kofz-, Brennöfen, Mischern u. a., sodann zur Dampferzeugung und endlich unmittelbar zum Antrieb von Hochofengebläsen, Dynamomaschinen, Kompressoren u. a.

Von dem erhaltenen Gichtgas verbraucht man im allgemeinen nach Abzug von 5% für Leitungsverluste u. dgl. für die Winderhitzer 37—40%, für den übrigen Hochofenbetrieb, also zum Antrieb aller dazu gehörigen Maschinen und Belieferung der Nebenbetriebe etwa 20—30%, so daß noch 25—45% für Zwecke außerhalb des Hochofenwerks übrigbleiben.

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 25 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, Heizkanäle der zu erhitzenden An-

lagen usw. verstopft, so daß öfters kostspielige Reinigungen erforderlich werden, und bei Verwendung der Gase zu motorischen Zwecken schon in geringsten Mengen einen schnellen Verschleiß der sich aneinander reibenden Teile der Gasmaschinen herbeiführt. Für Heizzwecke bringt man daher das Gas auf einen Reinheitsgrad von 0,1—0,5 g Staub je cbm Gas, für motorische Zwecke sogar von 0,01—0,03 g oder weniger. Die Entfernung des größten Staubes geschieht dadurch, daß man den Gasen mehrfache Richtungsänderungen 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 Brickettierung oder Agglomerierung wieder im Hochofen verschmolzen zu werden. Eine noch weitergehende Staubentfernung erzielt man auf nassem Wege, indem man das trocken vorgereinigte Gas in Hordenwascher leitet, hohe Behälter, die innen mit Holzhorden ausgelegt sind und in denen dem hochsteigenden Gase fein verteiltes Wasser in großen Mengen von oben her entgegenrieselt. Da auch hierdurch die Staubentfernung in den meisten Fällen noch nicht gründlich genug erfolgt, unterzieht man die Gase noch einer Feinreinigung. Man leitet sie dazu allgemein in Zentrifugalreiniger oder Ventilatoren (Bauart Theisen, Zscheke u. a.), in denen der Staub nach Beschwerung mit fein verspritztem Wasser durch die Fliehkraft aus dem Gas entfernt wird. Um den bei der nassen Reinigung ins Gas übergegangenen Wassergehalt wieder daraus zu vertreiben, läßt man dieses schließlich noch durch Wasserabscheider mit Brallflächen und Filter aus Holz- wolle, Koks, Sägemehl u. dgl. gehen. Da die Zentrifugalreiniger sehr beträchtliche Wassermengen verbrauchen, nimmt man auf einigen Werken die Feinreinigung auch auf trockenem Wege vor, indem man das Gas auf 40—80° abkühlt, dann durch Filter drückt, die selbsttätig in geringen Zeitabständen durch Rütteln vom Staub befreit werden und es dann noch einmal zur Entfernung des Wasserdampfs herunterkühlt. Das elektrische Reinigungsverfahren von Cotrell-Möller, bei dem die Staubteilchen durch überströmende Elektrizität an Entladungselektroden elektrisch geladen mit dem Strom zu den Sammelelektroden wandern, sich dort zusammenballen und absetzen, um dann abgerüttelt zu werden, hat sich bisher in größerem Umfange noch nicht eingeführt.

X. Die Darstellung des schmiedbaren Eisens.¹⁾

1. Das Bessemer- und das Thomas-Verfahren (Windfrischen).

Das Bessemer-Verfahren.

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 dem Eisenbade wie bei den später beschriebenen Frischverfahren von außen her Wärme durch Heizgase u. dgl. zuzuführen.

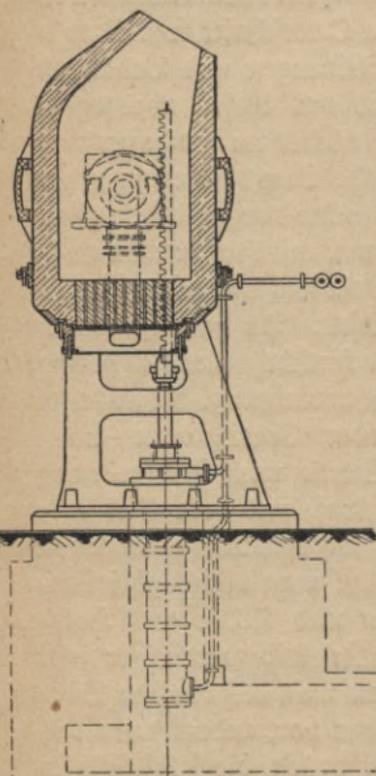


Abb. 7. Bessemerbirne
(Konverter).

Die Bessemerbirne. Das Bessemer-Verfahren wird noch heute in einer Vorrichtung durchgeführt, die 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 (Umwender). Die in der Abb. 7 dargestellte 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 ausgefüttert ist. Der Mantel ist durch einen starken Tragring mit den Zapfen fest verbunden. Der eine dieser Zapfen hat ein Zahnrad, in das eine entsprechende Zahn-

stange 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

1) Das Puddelverfahren ist im I. Abschnitt unter Geschichte des Eisens aufgeführt, da es in absehbarer Zeit der Vergangenheit angehören dürfte.

Gebälzen erzeugten Preßluft (des Windes) dient, ist hohl und durch ein Rohr einerseits mit dem Gebälze, anderseits 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 Seitenwandungen und daher öfter ersetzt werden muß, zum Auswechseln eingerichtet. Der obere sich verengende Teil der Birne wird Hals genannt, der in der Abb. 7 links befindliche Teil heißt Rücken. Die Birnen sind bei neuzeitlichen Anlagen stets zu mehreren in größeren Abständen nebeneinander auf einer Bedienungsbühne angeordnet.

Der Roheisenmischer. Beim Bessemer-Verfahren verwendet man flüssiges Roheisen, das je nach der 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, 1,5—3% Mangan, nicht mehr als 0,1% Phosphor und 0,05% Schwefel, kann aber mit dem Si- und Mn-Gehalt noch weiter heruntergehen wie in Amerika, wo das Bessemer-Verfahren in viel größerem Umfange zur Massenerzeugung von Stahl verwendet wird wie bei uns. Das zu frischende Roheisen wird für gewöhnlich nicht unmittelbar vom Hochofen in die Birne gebracht, sondern, falls der Hochofen in der Nähe des Bessemerstahlwerks liegt, in flüssigem Zustande in Pfannen, die in sog. Pfannenwagen hängen, unmittelbar oder mit Hilfe eines Krans einem großen hydraulisch oder elektrisch kippbaren Gefäß, dem Roheisenmischer (Abb. 8) zugeführt, der mehrere Ofenabstiche (500—2000 t) in sich aufnehmen kann. Hierdurch erreicht man nicht nur die erforderliche Unabhängigkeit des Stahlwerksbetriebs von der Hochofenanlage, deren Roheisenerzeugung in einer bestimmten Zeit sich nicht ständig mit dem Roheisenbedarf der Birnen deckt, sondern erzielt gleichzeitig auch den Vorteil einer guten Durchmischung der einzelnen nie ganz gleichmäßig ausfallenden Roheisenabstiche sowie einer weitgehenden Entschwefelung. Der Schwefel, dessen Abscheidung das im Roheisen enthaltene Mangan bewirkt, indem es mit ihm in die Schlacke übergehendes Schwefeleisen bildet, wird bei hinreichend langem Aufenthalt im Mischer bis zu etwa 45% seines Gesamtgehaltes entfernt. Als Mischer wird gewöhnlich ein Rollmischer benutzt, wie ihn Abb. 8 in aufrechter und in gekippter (s. die gestrichelten Linien) Stellung darstellt. Bisweilen werden

die Rollmischer in Bessemer- und Thomas-Werken auch heizbar eingerichtet, damit das Eisen während längerer Stillstände nicht erstarrt.

Ist der Hochofen so weit vom Stahlwerk entfernt, daß das Roheisen auf seinem Wege dorthin zu stark abkühlen würde, oder will man

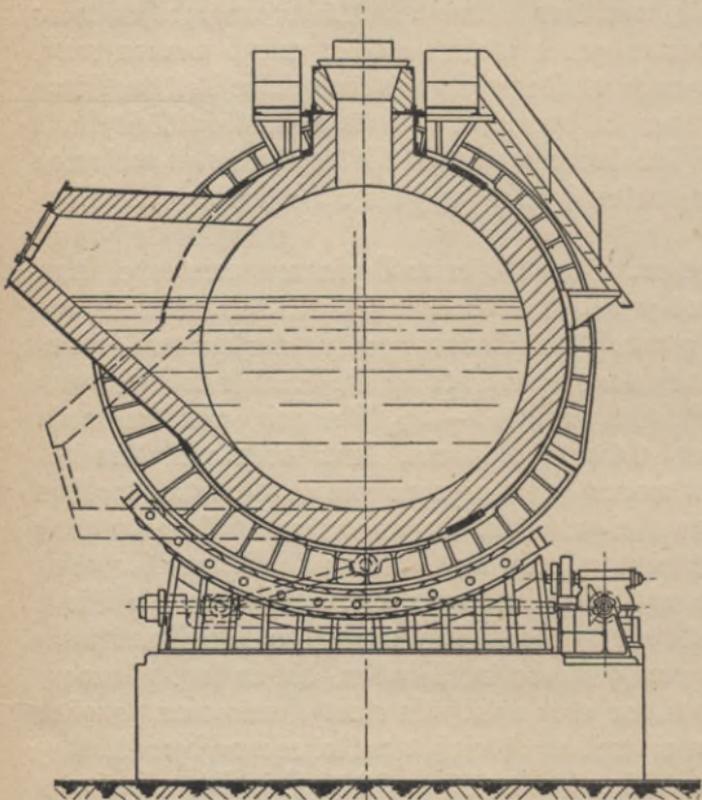


Abb. 8. Roheisen-Roll- oder Walzenmischer.

im Stahlwerksbetriebe noch unabhängiger als im vorhergehend erwähnten Falle von der Hochofenanlage sein, so läßt man das Roheisen in Form von Massen zunächst erstarren und schmilzt es dann von neuem in einem Stahlwerkstuppelofen, einem Schachtofen, der dem auf S. 121 abgebildeten Gießereikuppelofen in seiner ganzen Form ähnelt. Ein Kuppelofen erzeugt je nach seinem zwischen 2 und 4 m schwankenden lichten Durchmesser in der Formenebene 20—50 t flüssigen Eisens je Stunde bei einem Koksver-

brauch von 6—8% und einem Kalksteinzuschlag von 3—5%. Der Abbrand, d. h. der Unterschied zwischen eingesetztem und erzeugtem Eisen schwankt zwischen 1,5 und 3%.

Das **Arbeitsverfahren** beginnt damit, daß die von der letzten Hitze (Charge) noch glühende Birne soweit gekippt wird, bis sie waagrecht auf dem Rücken liegt. Dann wird das vom Kuppelofen kommende oder vom Mischer auf einem Wagen oder an einem Kran in der Pfanne herbeigefahrene flüssige Eisen in den Hals der Birne gegossen, natürlich nur in solcher Menge, daß es weder durch die Winddüsen in den Windkästen dringt, noch aus dem Halse herausfließt. Nach dem

Einfüllen werden die Gebläsemaschinen angestellt. Der auf $1\frac{1}{2}$ bis 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 durchdringt 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 Luftsauerstoff entwickeln sich ähnlich wie bei der Verbrennung des in den gewöhnlichen Brennstoffen enthaltenen Kohlenstoffs große Wärmemengen, und zwar in so kurzer Zeit — der ganze Prozeß ist in etwa 12—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 Bessmer-Verfahren die Rolle von Brennstoffen, so daß sich die Erhitzung des Bades von außen durch gewöhnliche Brennstoffe, wie Kohle, Gas oder dgl. erübrigt. Ohne diese chemischen Vorgänge wäre das Verfahren überhaupt nicht auszuführen, denn durch die kalten Windstrahlen und die Außenluft an sich würde das Eisenbad lediglich schnell und stark abgekühlt und bald erstarren. Umgekehrt muß aber seine Temperatur gleichzeitig mit der Abnahme des Gehalts an Fremdstoffen, vor allem an Kohlenstoff, während des Verfahrens immer noch gesteigert werden, denn der Schmelzpunkt des Eisens steigt ja mit abnehmendem Gehalt an Fremdstoffen sehr erheblich (vgl. S. 35).

Je mehr Kohlenstoff oxydiert, desto stärker wird das Getöse, mit dem das entstehende Kohlenoxydgas aus dem Birnenhalse austritt 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, der Wind abgestellt und das erzeugte

Flußeisen an Hand einer Schöpf- und Schmiedeprobe auf seinen Kohlenstoffgehalt hin geprüft. Entspricht dieser den Anforderungen, so wird das Blasen zwar nicht weiter fortgesetzt, doch das gewonnene Flußeisen ist in dieser Zusammensetzung noch nicht brauchbar. 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. Man muß daher den in Form von Eisenoxydul im Eisen aufgelösten Sauerstoff wieder daraus entfernen, das Flußeisen „desoxydieren“, wie man sich technisch ausdrückt. Dies geschieht durch das Element Mangan, das ein größeres Vereinerungsbestreben zum Sauerstoff hat wie das Eisen selbst und ihn daher nach der Formel $\text{FeO} + \text{Mn} = \text{MnO} + \text{Fe}$ an sich reißt, um ihn als Manganoxyd, das spezifisch leichter als Eisen ist und daher im Eisenbade hochsteigt, in die Schlacke zu überführen. Das Mangan wird dem Bade in Form der Legierungen Ferromangan oder Spiegeleisen (vgl. S. 88) zugesetzt.

Spiegeleisen und Ferromangan enthalten neben dem hohen Mangan Gehalt auch noch viel Kohlenstoff. Sie erfüllen daher gleichzeitig die wichtige Aufgabe, dem nahezu kohlenstofffreien Flußeisen 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 60 oder 80% Mn hinzu. Zur Erzielung von kohlenstoffreichem Flußeisen (Stahl) würde bei einem größeren Zusatz von Ferromangan jedoch zuviel Mangan ins Bad gelangen. Man kohlte es daher mit dem viel manganärmeren 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 (Darby-Verfahren, Düdelinger-Verfahren).

Man könnte zur Erzeugung von Stahl das Rückkohlen auch umgehen, 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 auch 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 zunächst durch Blasen 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.

Der Abbrand (vgl. S. 94) beträgt beim Bessemer-Verfahren etwa 10—12 %. Die Bessemer Schlacke enthält in der Hauptsache Kieselsäure, Eisenoxyde sowie Manganoxydul und wird wegen des letztern teilweise wieder im Hochofen verschmolzen.

Das Thomas-Verfahren.

Die großen Erwartungen, die man seinerzeit auf das Bessemer-Verfahren gesetzt hatte, erfüllten sich anfangs nicht, besonders weil 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 das Bessemeren bei uns nur vereinzelt Bedeutung gewinnen. Schon bald nach Erfindung des Verfahrens machten hervorragende Eisenhüttenleute darauf aufmerksam, daß es bei Vorhandensein einer basischen, z. B. stark kalkigen Schlacke gelingen müßte, die durch Einwirkung des Luftsauerstoffs 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. Das aus Kieselsäure bestehende Futter der Bessemerbirne würde daher binnen kurzem von einer basischen Schlacke aufgezehrt sein, die hierbei überdies noch ihren basischen Charakter verlöre. Die etwa schon gebundene Phosphorsäure würde auf diese Weise wieder frei werden und der Phosphor durch Reduktion ins Eisen zurückgelangen. Daher ist neben einer basischen Schlacke ein basisches Futter in den Birnen zur Phosphorabscheidung unbedingt notwendig. Bald nach Erfindung des Bessemer-Verfahrens wurden denn auch zahlreiche Vorschläge in dieser Richtung gemacht und viele Stoffe praktisch durchgeprobt, aber keiner von ihnen hatte die nötige Widerstandsfähigkeit gegen die physikalischen und chemischen nachteiligen Einflüsse des hochoberhitzten flüssigen Eisenbades. Über

zwanzig Jahre gingen erst nach Erfindung des Bessemer-Prozesses 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 zu faustgroßen Stücken zerkleinerte, 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. Zur Herstellung des Dolomitfutters dienen meist große Anlagen mit Brennöfen, Mühlen, Teerkochvorrichtungen, Stampfmaschinen, Steinpressen u. dgl.

Der Betrieb beim Thomas-Verfahren unterscheidet sich nicht unwesentlich von dem des Bessemer-Verfahrens. Vor Einfüllen des Roheisens, das möglichst unter 0,5% Si, zwischen 0,8—1,3% Mn, ferner 1,7 bis 2,2% P und möglichst unter 0,08% S enthalten soll, 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 Bessemern 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 Zeitspanne der Phosphoroxydation, die kaum fünf Minuten in Anspruch nimmt, das Nachblasen. Das Ende der Phosphoroxydation läßt sich an der Flamme nicht genau erkennen. Man muß daher Schöpfproben nehmen. Am Bruchaussehen der abgekühlten geschmiedeten Probe und 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 Kählungsarbeiten 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 Vorteil für eine erfolgreiche Durchführung des Verfahrens, nicht nur weil das Flußeisen nach Entfernung des größten Teils der Fremdstoffe einen besonders hohen Schmelzpunkt hat, sondern noch darüber hinaus erhitzt sein muß, damit es sich gut gießen läßt. Wenn auch die höchste Wärmeentwicklung beim Windfrischen nicht gerade im letzten Augenblick sondern etwas früher von noch größerem Vorteil wäre, so ist das Thomas- dem Bessemer-Verfahren in dieser Hinsicht doch überlegen, weil bei dem letzteren die größte Temperatursteigerung, die hier das Silizium bewirkt, gegen Anfang 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. 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 das Windfrischen kann man in 20—30 Minuten in einer Birne Mengen bis zu 30 000 kg Roheisen in schmiedbares Eisen umwandeln. Daher sind das Bessemer- und das Thomas-Verfahren zur Massendarstellung von schmiedbarem Eisen ganz besonders geeignet. Die ungeheuren Mengen an Materialien für die Eisenbahnen, wie Schienen, Schwellen, Laschen, Unterlagplatten u. dgl., und für den Bau von Eisenbauwerken jeglicher Art, wie Träger, Winkelseisen, Stabeisen, Bleche usw., werden hauptsächlich aus Birnenflußeisen hergestellt. In den meisten Ländern, mit Ausnahme Nordamerikas und Englands, wird das Bessemer wegen der Unmöglichkeit, dabei phosphorhaltiges Roheisen zu verarbeiten, nur einzeln angewendet, jedenfalls zur Massendarstellung von Flußeisen; dagegen spielt das Thomas-Verfahren dort eine desto größere Rolle. Das meiste erblasene schmiedbare Eisen ist ein weiches bis mittelhartes, gut schweiß- und schmiedbares Flußeisen mit Kohlenstoffgehalten bis zu 0,5%.

Während die Schlacken des sauren Prozesses nur teilweise Verwendung finden, und zwar durch Einschmelzen im Hochofen, spielen die Thomaschlacken in feingemahlenem 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 Thomaschlacke schwankt zwischen 16 und 24%, der Kalkgehalt beträgt 46—50%, außerdem sind noch Kieselsäure und Magnesia darin enthalten, leider auch nicht

unbeträchtliche Mengen an Eisenoxyden (8—16 %) und Manganoxyden (4—12 %). Diese Oxyde, besonders aber das wertvolle Manganoxydul, aus der Thomaschlacke zum größten Teil fernzuhalten, ist eine wichtige Zukunftsaufgabe 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 von Kieselsäure (Sand) und möglichst weitgehendes Mahlen zu feinem Staub gesteigert werden.

Das Gießen der Blöcke. Das in der Birne hergestellte Flußeisen wird in eine große meist hydraulisch bewegbare Gießpfanne ausgekippt, die für gewöhnlich in einem vierachsigen, elektrisch angetriebenen, 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 beim Gießen herausfließen läßt, falls die Entleerung nicht durch Rippen der Pfanne erfolgt.

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 coquilles) fließen läßt, gußeiserne hohe Kästen von quadratischem Querschnitt, die sowohl unten als oben offen sind. Zur Füllung der Kokillen, die in einer dem Stahlwerk meist unmittelbar angebauten großen Gießhalle in Vertiefungen (Gießgruben) längs des Gleises des Gießwagens aufgestellt sind, gibt es zwei Gießverfahren: den unmittelbaren Guß, bei dem das geschmolzene Flußeisen aus der Pfanne in die auf gußeisernen Platten stehenden Kokillen von oben hineinfließt, und den steigenden (kommunizierenden) Guß. Bei diesem gelangt das Flußeisen aus der Pfanne zuerst in einen Eingußtrichter, der in der Mitte einer ganzen Anzahl von Kokillen auf einer gemeinsamen Gußplatte aus feuerfesten Steinen steht und mit jeder einzelnen Kokille durch je einen Kanal in der feuerfesten Steinplatte verbunden ist, durchfließt diese Kanäle und tritt schließlich von unten her in die einzelnen Kokillen ein. 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 dem geringen Gewicht von etwa 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 Tiefofen des Walz-, Preß- oder Hammerwerks.

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

Der schon seit Mitte des 18. Jahrhunderts bekannte, im flüssigen Zustande gewonnene Tiegelstahl erfordert 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 das Windfrischen erfunden war, ließen die Hüttenleute von diesem Bestreben nicht ab, ja sie wurden sogar darin bestärkt, besonders weil die zahlreichen Stahlabfälle und Ausschußstücke des Bessemer-Verfahrens sowie die ständig zunehmenden Mengen an Alteisen (Schrott) auf diese Weise wieder durch Einschmelzen verwertet werden konnten. Doch alle darauf hinielenden 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 Schrottverwertung gedacht war, haben sich dann im Laufe der Zeit mehrere selbständige der Massenerzeugung dienende Frischverfahren entwickelt, von denen neben dem eigentlichen Schrottverfahren vor allem das Roheisenerzverfahren zu erwähnen ist.

Die sehr hohen Temperaturen bei der Siemensfeuerung werden durch Verwendung eines Heizgases erzielt, das man ebenso wie die zu seiner Verbrennung notwendige Luft in sogenannten Wärmespeichern (Regeneratoren) vorwärmt und dann in Form einer das Schmelzgut bestreichenden Stichtlamme im Schmelzraume (Herd) verbrennen läßt, und zwar mit möglichst geringem Überschuß an vorgewärmter Luft.

Der Siemens-Martin-Ofen. Das Herdfrischverfahren wird in feststehenden oder zum Bewältigen größerer Einsätze in kippbaren Martinöfen mit basischer oder saurer Ausfütterung durchgeführt. Abb. 9 und 10 stellen einen kippbaren Martinofen im Längs- und Querschnitt dar. Dieser besteht aus dem Herd *a* mit dem Deckengewölbe *b*, und den seitlich davon angeordneten Brennköpfen *c*, den zwei Paar Wärmespeichern *d* und *e* für Gas und *f* und *g* für Luft, den Umsteuerventilen hierfür und dem Ramin. Der muldenförmige Herd ist von einem starken aus eisernen Blechen oder Stahlgußplatten hergestellten Mantel umschlossen und ruht auf den beweglichen, auf

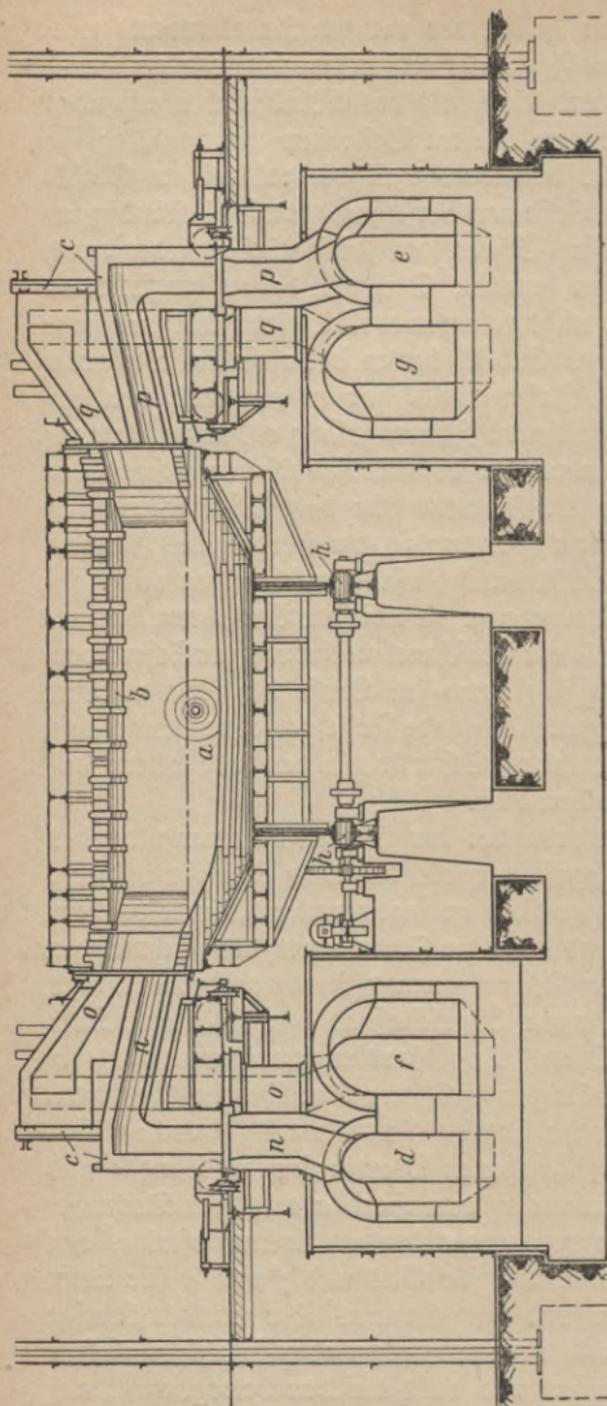


Abb. 9. Kippbarer Siemens-Martin-Ofen (Längsschnitt).

kreisförmiger Bahn laufenden Rollen *h*. Die Kippbewegung wird durch die am Bügel *i* angreifende auf und abwärts bewegliche Kolbenstange *k* bewirkt. Der bei basischen Öfen mit Dolomit oder Magnesit, bei sauren Öfen mit Quarz ausgefütterte Herd wird begrenzt durch die Vorderwand mit 3–5 verschließbaren Öffnungen zum Einsetzen der Rohstoffe, durch die Rückwand mit dem Stichloch *l* und der Abstichrinne *m* und an seinen Stirnseiten durch die Brennköpfe mit den Kanälen (Zügen) *n* und *o* sowie *p* und *q* 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 Silikatesteinen mit etwa 95% SiO_2 bestehen, sind, da sie sich in der Hitze zunächst erheblich ausdehnen, durch starke Verankerungen zusammengehalten. Durch die Züge in den Brennköpfen ist der Herdraum mit den unter ihm oder seitlich liegenden Wärme-

speichern verbunden. Diese bilden mit einem Gitterwerk feuerfester Steine ausgefüllte Kammern, die durch unterirdische Kanäle mit den Umsteuerventilen für Luft und Gas verbunden sind. Ebenso verbinden Kanäle die Umsteuerventile mit dem Kamin.

Der Weg des Gases und der Luft vor, bei und nach der Verbrennung ist folgender (Abb. 9). Das Gas strömt zunächst durch das Gasventil in den in der Abbildung links gelegenen hochehitzten Wärme-

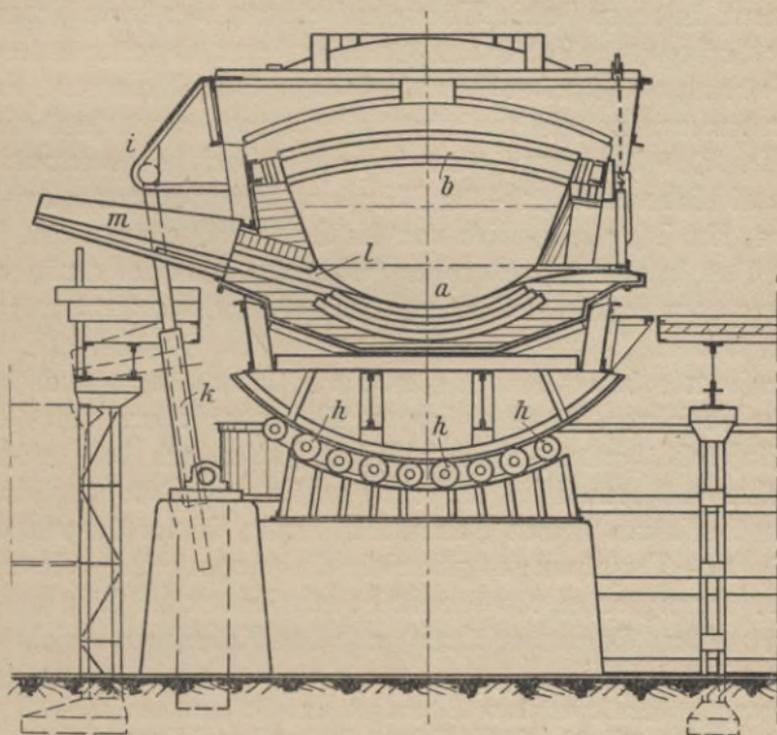


Abb. 10. Kippbarer Siemens-Martin-Dfen (Querschnitt).

speicher *d*, die Luft durch das Luftventil in den daneben liegenden, ebenfalls hochehitzten Wärmespeicher *f*. Hier erwärmen sich beide stark an den glühenden Steinen des Gitterwerks und gelangen mit hohen Temperaturen durch die Züge *n* und *o* 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 in Form einer Stichflamme statt, bei der so hohe Temperaturen erzeugt werden, daß das kohlenstoffarme Flußeisen nicht nur geschmolzen bleibt, sondern auch die für das Vergießen notwen-

dige Überhitzung erfährt. Die heißen Verbrennungsgase ziehen dann weiter durch die gegenüberliegenden Züge in die rechts gelegenen Wärmespeicher *e* und *g*, heizen diese und gehen schließlich zur Esse. Nach einer gewissen Zeit sind die Wärmespeicher der rechten Seite stark genug erhitzt, die links gelegenen dagegen durch das frische Gas oder 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 Koks- ofengas, für sich allein, wird nur die Luft vorgewärmt, weil sich mit diesem Gas infolge seines großen Heizwertes ohnedies genügend hohe Temperaturen erzielen lassen, und weil es durch die Erhitzung zersetzt werden würde.

Ebenso wie beim Windfrischverfahren benutzt man auch bei dem Martin-Verfahren, soweit es sich um Massendarstellung von Flußeisen und Flußstahl handelt, meist basisches Futter, um den gefährlichen Phosphor aus dem Eisen entfernen zu können. Das heutige basische Martin-Verfahren ist kein so einheitlich durchgeführter Prozeß wie z. B. das Thomas-Verfahren; 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 Martin-Verfahren. Es beruht auf dem Schmelzen und Frischen von 20—35 % Roheisen zusammen mit 65—80 % Schrott, d. h. altem Eisenmaterial oder Abfällen der Eisendarstellung und -verarbeitung. Als Frischmittel wirken bei dem Schrottverfahren namentlich der in der Flamme enthaltene Luftsauerstoff, 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 werden besonders Kohlenstoff, Silizium, Mangan, Phosphor und Schwefel aus dem Eisen in mehr oder weniger großen Mengen entfernt, Kupfer, Arsen, Antimon und Zinn sind dagegen nicht herauszubringen, dürfen also nur in unschädlichen Mengen in den Rohstoffen enthalten sein. Zur Abscheidung von Phosphor und Schwefel ist ein Zuschlag an Kalk erforderlich.

Für das Herdofenfrischen ist im Gegensatz zum Windfrischen ziemlich jedes Roheisen von beliebiger Zusammensetzung verwendbar, allerdings beeinflus-

fen 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 schon während des Einschmelzens 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 infolge der im Überchuß vorhandenen starken Basen sehr leicht, befördert wegen der dabei entstehenden großen Wärmemengen das Einschmelzen und erleichtert die Schlackenbildung. Ein zu hoher Siliziumgehalt ist aber nicht wünschenswert, weil schon an und für sich durch die Zuschläge und aus den Ofenwandungen Kieselsäure in den Ofen gelangt. Außerdem vermindert ein zu hoher Siliziumgehalt die Wirkung der basischen Zuschläge und greift die basische Ausfütterung zu stark an. Auch die Oxydation des Phosphors geht bei Vorhandensein basischer Zuschläge sehr bald vor sich, im Gegensatz zum Thomas-Verfahren, da die Temperatur beim Einschmelzen verhältnismäßig gering ist. Unerwünscht ist in den meisten Fällen ein Phosphorgehalt des eingesetzten Roheisens 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 Dauer einer Schmelze verlängert wird. Mangan im Roheisen wirkt günstig, denn es hat die willkommene Eigenschaft, einen großen Teil des durch Verbrennung zuerst gebildeten Eisenoxyds wieder zu reduzieren sowie den größten Teil des Schwefels zu binden und als Mangansulfid in die Schlacke zu überführen. Sind die Fremdstoffe annähernd in der Menge im Roheisen enthalten, daß sie der oxydierenden Einwirkung der Flamme auf das Eisen die Wage halten und daß kein Erzzuschlag nötig ist, so erzielt man beim Schrottroheisenverfahren die günstigsten Betriebsergebnisse.

Vor Beginn einer jeden Schmelzung, die bei größeren Einsätzen 6—8 Stunden erfordert, wird der Ofen an den schadhafsten Stellen, besonders in der Schlackenzone, mit Dolomitmasse schnell ausgebessert. Das Einsetzen der Rohstoffe geschieht höchstens bei ganz kleinen sauer erstellten Öfen noch von Hand, bei großen mit 15—50 t Einsatz und darüber würde die Handbeschickung jedoch zu langwierig und kostspielig sein und auch durch große Hitze im Ofeninnern sehr erschwert werden. Man hat daher die menschliche Arbeit hier durch Maschinen ersetzt, die Einsetz- oder Beschickmaschinen (Chargiermaschinen) genannt werden. Diese sind meist als elektrisch angetriebene hängende Krane ausgeführt, die vor der Front der Martinöfen auf und ab fahren. Sie packen mit einer langen Schubstange rechteckige eiserne Kästen (Mulden), die vorher die Rohstoffe aufgenommen haben, schieben diese Mulden durch die Einsatztüren 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 Schöpf- und Schmiedeproben 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, Spiegeleisen oder Stahleisen hinzu. Um harte Flußeisensorten mit höherem Kohlenstoffgehalt, also Flußstahl, zu erzeugen, braucht die Entkohlung nicht bis zu Ende durchgeführt zu werden, sofern die Einsatzstoffe nur wenig Phosphor enthielten. Bei dem langsamen Verlauf des Prozesses kann man viel leichter als bei dem Windfrischverfahren durch Probenehmen rechtzeitig den erwünschten Kohlenstoffgehalt feststellen.

Zur Desoxydation und Kohlung verwendet man wie beim Windfrischen für weiche kohlenstoffarme Flußeisensorten hochprozentiges Ferromangan in Mengen von 0,5—1% des Einsatzes, bei härteren Sorten 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, bzw. der Ofen wird gekippt, worauf der glutflüssige Stahl in die unter die Abstichrinne gefahrene Pfanne fließt, mit deren Hilfe er in die Kokillen gefüllt wird.

Das Roheisenerzverfahren. Bei diesem Martin-Verfahren setzt man flüssiges Roheisen entweder allein oder mit etwas festem Schrott in den Ofen ein und frischt nicht nur durch den sauerstoffreichen Gasstrom, sondern vorwiegend durch oxydische Eisenerze, deren Anteil etwa 18—25% des Roheiseneinsatzes beträgt. Dadurch, daß der Erzsaurestoff 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 unter Umständen, d. h. bei hinreichend großem Einsatz an Erz, keinen Abbrand wie beim Windfrischen, sondern eine größere Ausbeute an Flußeisen als Roheisen eingesetzt war und hat dabei dem Thomas-Verfahren gegenüber den weiteren Vorteil, nicht nur phosphorreicher, sondern jedes andere Roheisen verwenden zu können. Das flüssige Roheisen entnimmt man meist nicht unmittelbar dem Hochofen, sondern läßt es vorher wie beim Windfrischen durch den Mischer gehen. Zuerst werden Erz- und Kalkstein in den Ofen gesetzt und erhitzt, und dann wird das flüssige vom Mischer kommende Roheisen darauf gegossen, und zwar unter Benutzung einer durch eine der Einsatzöffnungen geführten Rinne. 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 Schrotverfahren. Mit Ofen mittlerer Fassung kann man nach diesem Verfahren in 24 Stunden bei 4 Schmelzungen etwa 100—160 t Martinflußeisen erzeugen.

Bei höherem Phosphorgehalt des Roheisens ist es schwierig, ein phosphorarmes Enderzeugnis zu gewinnen, weil ein Teil des oxydierten in die Schlacke übergegangenen Phosphors leicht wieder daraus reduziert wird und damit wieder in den Stahl zurückgelangt. In solchen Fällen leistet das Bertrand-Thiel-Verfahren gute Dienste, bei dem in einem feststehenden Martinofen vorgefrischt und dann nach Entfernung der hierbei entstandenen phosphorreichen Schlacke, zur Beseitigung der noch vorhandenen Hauptmenge

des Kohlenstoffs in einem zweiten tieferstehenden Martinofen weitergefrischt wird. Auch das Hoesch-Verfahren verfolgt das gleiche Ziel. Hierbei wird das vorgefrischte Metall mit der Schlacke in eine Pfanne abgestochen und nach Abgießen der Schlacke und Einsetzen von Schrott und Kalk wieder in den Ofen zum Weiterfrischen zurückgegossen. Seit einigen Jahren hat man auch auf einzelnen Werken mit Erfolg das Vorfrischen in großen, mit Regenerativfeuerung versehenen Mischern mit einem Fassungsvermögen bis zu 350 t vorgenommen. Dabei wird neben Mangan und Schwefel, die ja bekanntlich stets im Mischer größtenteils entfernt werden, durch Zusatz von Kalk und Erz ein nicht unbeträchtlicher Teil des Siliziums und Phosphors aus dem Eisen in die Schlacke überführt, die vor dem Weiterfrischen des Metalls in einem feststehenden Martinofen in eine Pfanne abgekipppt wird.

Eine andere Abart des Roheisenerzverfahrens ist das besonders in den Vereinigten Staaten von Amerika verbreitete Talbot-Verfahren. 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 wird.

Steht einem Werke zur Stahlherstellung ein Roheisen zur Verfügung, das für das Bessemer-Verfahren zu viel und für das Thomas-Verfahren zu wenig Phosphor enthält, so kann mit Vorteil das kombinierte oder Duplex-Verfahren angewendet werden, bei dem eine Bessemerbirne zum Vorfrischen und ein basischer Martinofen zum Entphosphorn und Fertigmachen der Schmelzung benutzt wird.

Alle übrigen Abarten des Martin-Verfahrens haben entweder nur örtliche Bedeutung oder sind überhaupt nicht mehr in Anwendung. Hierher gehören das Daalen-Pizcolfa-Verfahren, bei dem das Vorfrischen in einer Pfanne mit heißem Hochofenwind vor sich ging, das Monell-Verfahren mit Schlackenentfernung mitten im Prozeß selbst, schließlich das Surzhek-Verfahren, bei dem der Ofeninhalt durch mehrere übereinanderliegende Abstichöffnungen immer nur teilweise abgestochen wurde.

Anordnung der einzelnen Anlagen. Den Mittelpunkt der Anlagen bildet die Ofenhalle, in der die Siemens-Martin-Ofen meist in einer Reihe in ihrer Längsrichtung mit gewissen Abständen aufgestellt sind. Längs der Einfüllseite der Ofen zieht sich die breite Arbeitsbühne hin, von der aus die Ofen durch die an Lauftränen fahrenden Beschickmaschinen und die Ofenmannschaften bedient und überwacht werden. An der gegenüberliegenden Abstichseite der Ofen befindet sich die geräumige Gießhalle (vgl. S. 100). Das abgestochene Metall wird ebenso wie bei dem Windfrischverfahren mit Hilfe von Pfannen, die hier auch an Lauftränen hängen können, auf die Gießformen oder die zugehörigen Eingußtrichter verteilt. Das Gewicht der gegossenen Blöcke, die durch Walzen weiterverarbeitet werden sollen, schwankt zwischen 80 und 5000 kg, während die zum Schmieden bestimmten durch

Zusammenguß aus mehreren Öfen oft viel schwerer sind und bisweilen bis 100 000 kg betragen.

Die Gaserzeugerhalle liegt meist auf der der Gießhalle entgegengesetzten Seite unmittelbar neben der Ofenhalle oder in einiger Entfernung davon. Bei neuzeitlichen Anlagen befinden sich oberhalb der Gaserzeuger Kohlenbunker, in welche die Kohle durch Becherwerke oder auf sonstige Weise gehoben wird, um von dort selbsttätig in die Gaserzeuger zu gelangen.

Zum Lagern der Schmelz- und Ofenbaustoffe dienen gedeckte Lager Räume oder freie Plätze, durch die Eisenbahngleise führen und die von Kränen bestrichen sind. Besonderen Raum nimmt hierbei der Schrottplatz ein, auf dem große Fallwerke und Scheren zum Zerkleinern, Pressen zum Paketieren und elektromagnetische Laufkrane zum Verladen des Schrotts aufgestellt sind.

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

3. Das Tiegelstahlverfahren.

Die Tiegel, in denen der Stahl bei diesem Verfahren hergestellt wird, sind durch einen Deckel verschließbare Gefäße von kreisförmigem Horizontalquerschnitt mit einem Fassungsvermögen von 10 — 40 kg Eisen und darüber. Da die Tiegel sowohl den hohen Temperaturen als auch den chemischen Einwirkungen des geschmolzenen Flußeisens Rechnung tragen müssen, bestehen sie aus dafür geeigneten feuerfesten Stoffen, und zwar meist aus Gemischen von rohem Ton (wasserhaltigem, durch verschiedene Mineralien verunreinigtem Aluminiumsilikat) und gebranntem Ton (Schamotte) einerseits, mit kohlenstoffhaltigen Stoffen, wie Holzkohle, Koks, Graphit u. dgl. andererseits. Das Tiegelmateriale wird, nachdem es gut durchgemischt und geknetet ist, durch Pressung in die Tiegelform gebracht. Nach sehr sorgsamer Trocknung, die viele Wochen beansprucht, und in besonderen heizbaren Kammern vor sich geht, werden die Tiegel gleich mit den eingesetzten Schmelzstoffen geglüht und dann sofort mit großen Zangen in den Schmelzofen gebracht. Die Schmelzöfen haben verschiedene Bauart. Für größere Betriebe sind vorwiegend dem Siemens-Martin-Ofen ähnliche mit Wärme-

speichern 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, weil diese Elemente infolge Abschlusses des Tiegelinhalts von der Außenluft durch den Luftsaurestoff nicht oxydiert werden können. Herdfrischstahl, Zementstahl und Buddelstahl (vgl. den I. Abschnitt) waren früher die bevorzugten Rohstoffe zur Tiegelstahlerzeugung, jetzt werden auch reiner Bessmer- und Martinstahl in Tiegeln umgeschmolzen, und zwar setzt man diese für gewöhnlich, nachdem sie schon vorher „fertig gemacht“ waren, in flüssigem Zustande ein, lediglich um sie noch abgaren, d. h. möglichst gasfrei werden zu lassen. 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 (Schweißeisen), sei es durch anhaftenden Rost und Grünspan, 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 nicht zu geringer Mangangehalt 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 Oxydhäutchen 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 sowie die Tiegel hoch sind und der Brennstoffbedarf groß ist. Dafür ist der Tiegelstahl bei sorgfamer Auswahl der

verwerteten Rohstoffe und guter Durchführung des Verfahrens 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, hochbeanspruchte Konstruktionsteile, 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 güldigem (goldhaltigem) Silber, reines Gold aus platinhaltigem Gold usw. Auch für die Gewinnung von Eisen kann das elektrolytische Verfahren in Frage kommen. Gegenwärtig wird Elektrolyseisen aber infolge der sich entgegensetzenden 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 Stahldarstellung mit immer größerem Erfolge zu verwenden gelernt. Soweit hierbei chemische Vorgänge in Betracht kommen, werden sie nicht durch den elektrischen Strom bewirkt, sondern ähnlich wie bei den sonstigen Darstellungsverfahren durch oxydierende und reduzierende Stoffe verschiedener Art. Theoretisch ist es natürlich möglich, den elektrischen Strom statt der gewöhnlichen Brennstoffe als Heizmittel für sämtliche im vorhergehenden beschriebenen Verfahren, also auch zur Roheisendarstellung und zur Umwandlung von Roheisen in schmiedbares Eisen durch Frischen zu ver-

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

wenden, praktisch 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. 87 erwähnten Ausnahmefällen als Ersatz für die Schmelzvorrichtungen der oben genannten Frischverfahren in Frage kommen. Sonst sind die Elektroöfen aber von großer Bedeutung zur Nachreinigung von flüssigem Thomas- und Martinstahl in der Weise, daß man ihnen nur die Schlußbehandlung des Stahls überläßt, also die Desoxydation, Entschwefelung, Kohlung usw. Hierbei geht man bisweilen vorteilhafterweise sogar so weit, den Elektroöfen mit bereits fertig behandeltem Flußeisen, z. B. Martinstahl zu beschicken und diesen in dem Ofen bei hohen Temperaturen nur ausgaren und abstehen zu lassen. Weiterhin stellt man im Elektroofen auch durch Legieren mit Nickel, Chrom, Wolfram u. dgl. hochwertigen Sonderstahl oder Gußeisen mit hervorragenden Festigkeitseigenschaften her, ferner Ferrromangan und andere Eisenlegierungen. Die elektrische Heizung hat gegenüber derjenigen mit gewöhnlichen Brennstoffen verschiedene Vorzüge. So kann man 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 wird das geschmolzene Material vor der Aufnahme von Sauerstoff und sonstigen Gasbestandteilen bewahrt, da Gase und Luft nicht benutzt werden, wie beim Thomas- und Martin-Verfahren.

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,

1) Vgl. Kottb, Grundlagen der Elektrotechnik (AMG Bb. 391).

Nathusius u. a. sind die Elektroden dagegen stets so angelegt, daß der Strom durch das Bad läuft. Einen Héroultofen zeigt Abb. 11 im Schnitt. Dieser mit ist einem kippbaren Martinofen vergleichbar, bei dem die Wärmezufuhr statt durch verbrennende Gase durch elektrische Lichtbögen von oben her erfolgt. Der Schmelzherd des Ofens

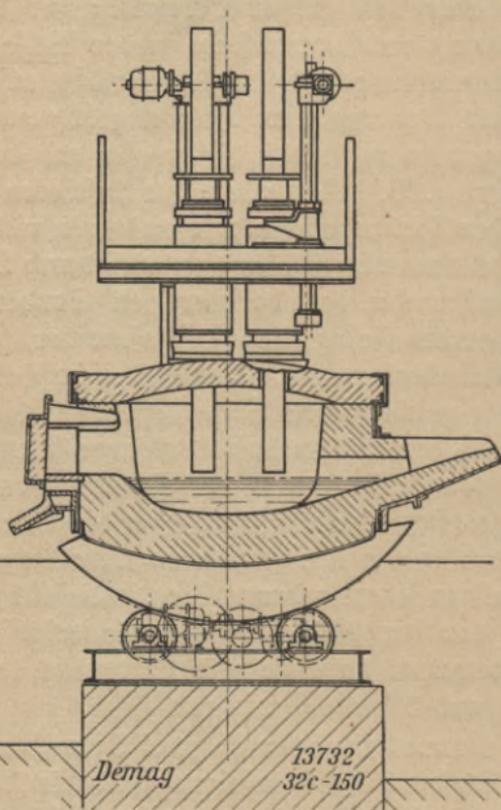


Abb. 11. Héroultofen.

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 wärme-

gebenden 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 elektrischen Strom aus den Elektroden herausgeschleuderten Kohlenstoff begierig in sich aufnehmen würde. Das fertige Erzeugnis wird durch Rippen aus dem Ofen entfernt. Héroultöfen werden für Einsätze bis 25 t und darüber gebaut.

Der Héroultofen unterscheidet sich vom Héroultofen 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 bewahrt zu bleiben, durch Wasser gekühlt werden.

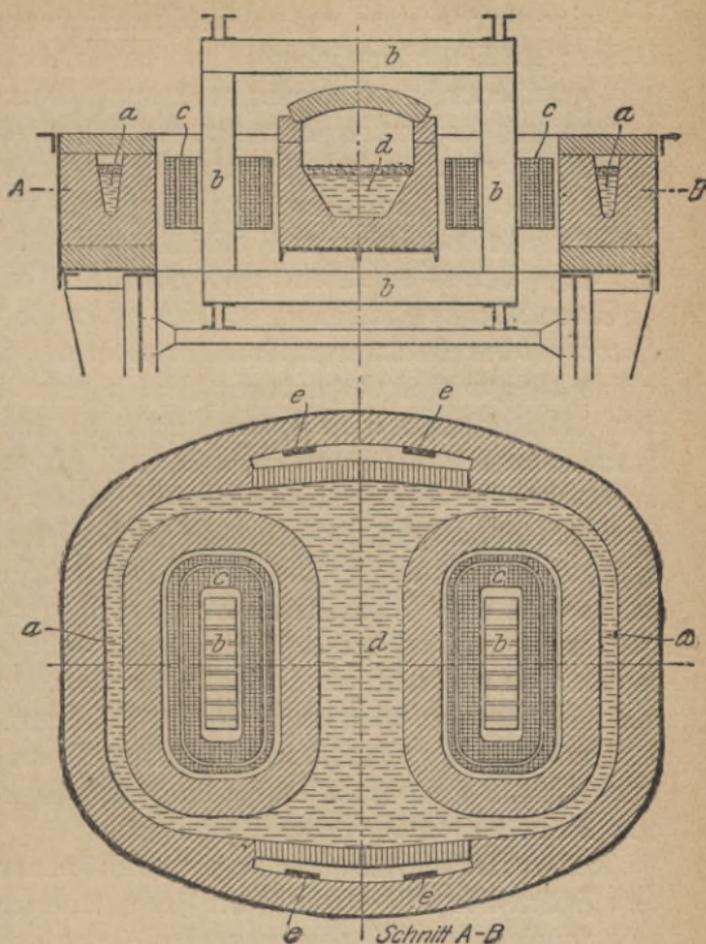


Abb. 12 u. 13. Röchling-Rodenhauser-Ofen.
(Senkrechtcr und wagerechter Schnitt).

Keller verwendet bei seinem Ofen als Bodenelektroden Eisenstäbe mit zwischengestampfter feuerfester Masse, Mathusius 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 anders als für ihren Bestimmungszweck besonders ausgebildete Transformatoren.¹⁾ Sie enthalten also sämtlich einen Eisenkern

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

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, Fridt u. a. benutzt.

Einen Röchling-Rodenhauser-Ofen geben die Abb. 12 u. 13 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 oder zur Herstellung hochwertiger Sonderlegierungen 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 Teil daraus entfernt werden können, sich daher auch im Enderzeugnis 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 Elektro Stahl wird seiner hervorragenden Eigenschaften wegen besonders zur Herstellung von Werkzeugstählen, für Flugzeug- und Automobilteile, hochbeanspruchten Stahlformguß usw. verwendet. Große Bedeutung hatte er während des Krieges auch für Infanterieschutzschilde, Schützenblenden, Stahlhelme 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 kommen aber einer mechanischen, mechanisch-thermischen oder rein thermischen Behandlung gleich, die nach den Ausführungen im vierten Abschnitt einen so weitgehenden Einfluß auf die Eigenschaften des Eisens haben, 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 Dampfhämmer mit Bärgegewichten bis zu 150000 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

116 XI. Die Formgebung u. die mechan. u. therm. Behandlung des Eisens
Oberfläche hin liegenden Teile als auf ihren inneren Kern. Infolgedessen bleiben nicht nur die inneren Teile des Stückes unverbessert, sondern das Material erhält auch durch die ungleichmäßige Einwirkung leicht gefährliche Spannungen, die später zum Bruch führen können. Zur Bearbeitung sehr großer Gegenstände verwendet man daher vortheilhafter 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 (vgl. Abb. 16). Die Walzen

liegen mit ihren Laufzapfen in kräftigen eisernen Gestellen, den sog. Walzenständern (vgl. Abb. 15), 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.



Abb. 14. Glatte Walze.

Die aus dem Bund oder Ballen *a*, den Laufzapfen *b* und den Kupplungszapfen *c* bestehenden Walzen haben als Ballen entweder wie in (Abb. 14) glatte Zylinder oder wie bei den drei Walzen in Abb. 15 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 auszuführende Aufgabe.

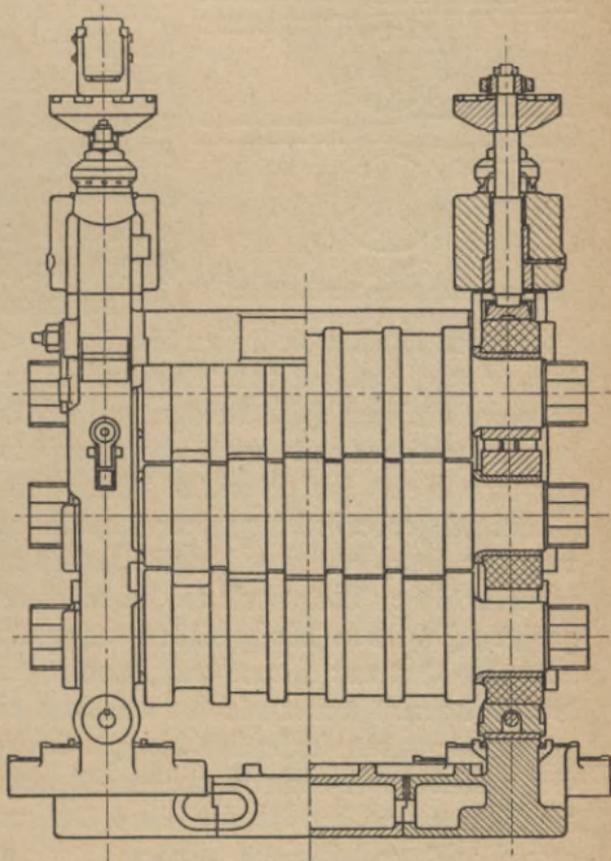


Abb. 15. Kaliber-Dreiwälzwerk.

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

118 XI. Die Formgebung u. die mechan. u. therm. Behandlung des Eisens 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

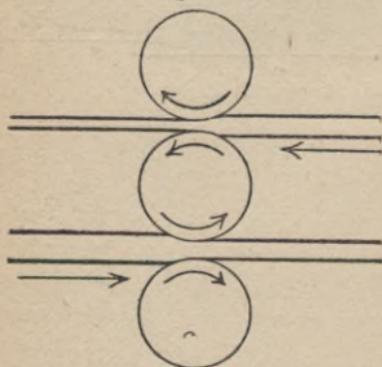


Abb. 16.

Walzvorgang beim Dreivalzwerk.

im Stahlwerk nicht mit so geringem Querschnitt gießen, daß sie leicht mit einem einzigen Stich in das fertige Enderzeugnis gebracht werden können. Hierbei würde das Material auch nicht hinreichend durchgearbeitet werden. Das Walzgut muß also unter allen Umständen unter allmählicher Querschnittsveränderung gestreckt werden. Dabei kühlt es sich naturgemäß mehr und mehr ab, so daß es in vielen Fällen zwischendurch mehrmals wieder auf die erforderlichen Walztemperaturen zu bringen ist. Um die Kosten hierfür einzuschränken, muß man darauf bedacht sein, das Gut vom Rohblock bis zum Enderzeugnis womöglich in einer einzigen Hitze durchzuwalzen. Durch die Vervollkommnung der Walzanlagen und der Fördereinrichtungen beim Walzwerkbetriebe hat man dieses Ziel in vielen Fällen erreicht.

Bei Massenherstellung mancher Halb- und Fertigerzeugnisse wendet man zur Beschleunigung der Walzarbeit mit großem Vorteil die kontinuierlichen Walzwerke an, bei denen in bestimmter Anordnung eine größere Zahl von Walzgerüsten aufgestellt ist. In jedem von diesen wird das Gut nur einmal durchgewalzt, um dann sogleich zum folgenden Walzgerüst weiterzulaufen und dort einen geringeren Querschnitt zu erhalten, bis schließlich die gewünschte Endform erzielt ist. Für Gegenstände, die nicht in großen Mengen hergestellt werden, würde die Anlage und der Betrieb eines kontinuierlichen Walzwerks naturgemäß viel zu kostspielig werden. Deswegen bringt man das Walzgut in solchen Fällen mehrmals durch ein und dasselbe Gerüst, indem man den zwei oder drei darin befindlichen Walzen wie in Abb. 15 eine ganze Reihe von Kalibern gibt, von denen jedes einen geringeren Querschnitt als das danebenliegende hat.

Je nachdem in einem Walzgerüst zwei oder drei Walzen übereinanderliegen, spricht man von Zwei- oder Duovalzwerken bzw. Drei-

oder Triowalzwerken. Bei einem Zweivalzwerk, dessen Walzen ständig nach einer Richtung laufen würden, müßte das Walzgut, nachdem es durch die Walzen gegangen ist, immer wieder über das Walzgerüst hinweg oder an ihm vorbei zurückgegeben werden, um von neuem hindurchgeschickt zu werden. Hiermit wären aber starke Abkühlung des Walzguts und Zeitverluste verbunden, außerdem würde sich die Rückbeförderung vor die Walzen bei sehr großen Stücken, wie schweren Blöcken und Panzerplatten, nur schwierig bewerkstelligen lassen. Daher richtet man Zweivalzwerke oft als sog. Keh- oder Reversierwalzwerke ein, bei denen die Drehungsrichtung der Walzen nach jedem Durchgange des Stücks durch Umsteuerung der Antriebsmaschinen umgekehrt wird. Will man das Umsteuern der Walzen umgehen, so kann man zur Vermeidung von Zeitverlusten statt der Keh-Zweivalzwerke auch Dreivalzwerke anwenden. Bei diesen findet die Drehung, wie aus dem Schema Abb. 16 hervorgeht, stets nach derselben Richtung hin statt. Hierbei läßt man das Walzgut zuerst durch die beiden unteren Walzen hingehen, dann durch die beiden oberen wieder zurück.

Die Walzen werden durch die mit Dampf oder Elektrizität betriebenen Walzenzugmaschinen mit Hilfe von Zahnradübertragungen (Kammwalzen) in Umdrehung versetzt.

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 Eisenbahnscheibenräder, schließlich Schräg- und Pilgerwalzwerke nach Mannesmann, Ehrhardt u. a. zur Herstellung von Hohlkörpern und nahtlosen Rohren.

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-, Kant-, Drehvorrichtungen, welche die entsprechenden Wirkungen auf das Walzgut ausüben, Sägen und Scheren zum Schneiden der gewalzten Gegenstände auf bestimmte Längen, Warm-

betten zur Aufstapelung und langsamen Abkühlung der Erzeugnisse und schließlich die verschiedenartigsten Öfen, in denen diejenigen Stücke, die nicht in einer Hitze durchgewalzt werden können, aus sonstigen Gründen zu niedrige Temperaturen haben, in ihrem ganzen Querschnitt nicht gleichmäßig erwärmt sind oder zur Vermeidung zu großer Sprödigkeit wieder geglüht werden müssen, die erforderlichen Temperaturen erhalten. Die Öfen zum Erwärmen des zu verwalzenden Guts haben die Form eines langgestreckten Rechtecks, an dessen einer Schmalseite die Blöcke oder sonstigen Stücke eingesetzt werden, um von hier aus durch den ganzen Ofen hindurch der Flamme entgegen gestoßen oder gerollt zu werden. Die Beheizung dieser Stoß- und Rollöfen erfolgt gegenwärtig meist durch Generator-, Hochofen- oder Koksöfengas, auch durch Teer, Teeröl oder Kohlenstaub.

Große, im Stahlwerk gegossene Blöcke sind, wenn sie außen schon erstarrt sind und dort die zum Verwalzen geeignete Temperatur haben, oft innen noch flüssig. Sie werden daher in gut verschließbare unter Hüttenflur gelegene Gruben mit feuerfesten Wänden gebracht, in denen sie solange stehen bleiben, bis sie in ihrem ganzen Querschnitt erstarrt und gleichmäßig rotglühend geworden sind. Auch diese Wärmeausgleichgruben werden oft mit Gas beheizt, um zu kalt gewordene Blöcke wieder anwärmen zu können.

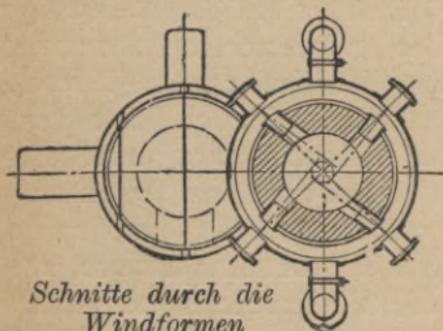
2. Eisenz-, Temper- und Stahlgießerei.

Die Eisengießerei. Als Rohstoffe für den Eisenguß dienen im allgemeinen die verschiedenen Gießereiroheisen- und allerlei Brucheisensorten, die in den meisten Fällen in einem Gießereischachtofen (Kupelofen, Kuppelofen), seltener in einem Flammofen oder sonstigen Schmelzeinrichtungen eingeschmolzen werden. Ein Gießereischachtofen (Abb. 17 u. 18) besteht in der Hauptsache aus einem hohen mit feuerfesten Steinen ausgelegten 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 Ofensohle liegt. Im unteren Teile enthält der Kuppelofen ähnlich wie der 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 Brucheisen (Gat- tierung) wird abwechselnd mit dem die erforderliche Schmelzhitze erzeugenden Koks und Kalk, der den an den Roheisenmassen 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 Ofensohle sich ansammelnde Gußeisen wird nach einer gewissen Zeit durch das unten befindliche Stichloch abgestochen, falls es nicht in einen besonderen unterhalb der Ofensohle befindlichen Vorherd fließt. Die auf dem Eisen schwimmende Schlacke entweicht durch den dicht unter der Formenebene angebrachten Schlackenstich, 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 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.



Schmitte durch die
Windformen

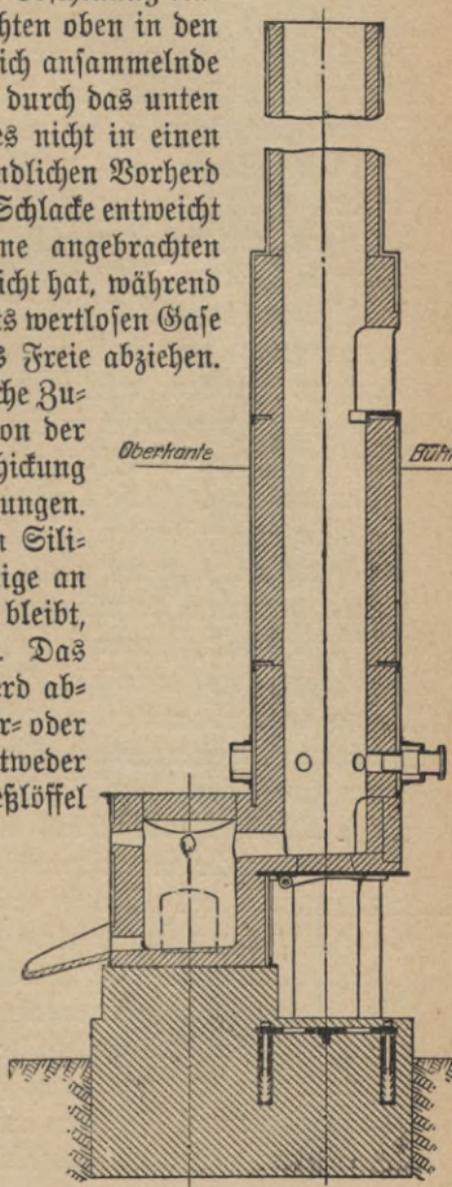


Abb. 17 u. 18. Gießerei-Kuppelofen mit Vorherd (wagerechter und senkrechter Schnitt).

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, infolge deren 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 Eisenorydhydrat 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 Umbrennen 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 Lykopydium, 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 Umbrennen und Zusammenfritten wird hierbei durch Zusatz von feinem Koksmehl 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, Sulfatlauge, Dextrin, Öl, Kolophonium, Mehl u. dgl., die durch das glutflüssige Metall vergast werden, also ihre Bindkraft nach dem Guß verlieren.

Zur Herstellung der Gußformen aus den genannten Formstoffen gibt es zwei Verfahren: die Modellformerei und die Schablonenfor-

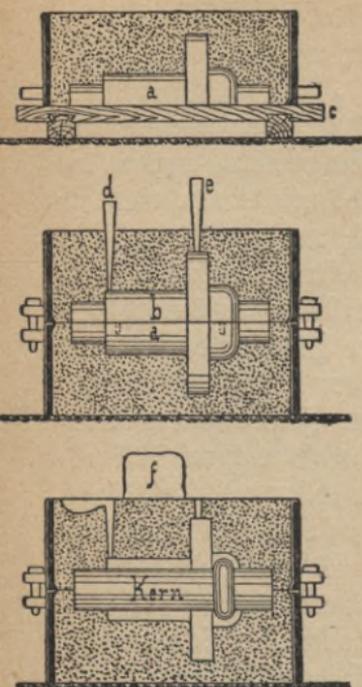


Abb. 19 bis 21.

Kastenformerei mit Modellen

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.

Als Beispiel für die Ausführung der Kastenformerei mag die Herstellung der Form für eine Stopfbüchse dienen, die durch die Abb. 19 bis 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 (oberstes Bild). 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 befestigt und der Oberkasten auf den Unterkasten gesetzt, um mit Sand gefüllt zu werden (mittleres Bild). 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. Wind-

merci. 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 oder Stahls beträgt (S. 47).

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 Eindringen des Modells in den Sand hergestellt.

Die meisten Gegenstände werden in geschlossenen Gußformen durch den Kasten- oder Sandguß ebenfalls mit Hilfe von Modellen hergestellt, und zwar über dem Boden oder halb oder

pfefe dient, aus der die Luft und die beim Gießen sich bildenden Gase entweichen können. Nach Entfernen der Modelle für Einguß und Windpfefe, muß der Former den ersteren oben etwas erweitern, damit der Strahl flüssigen Eisens nicht von der Pfanne aus unmittelbar in die Form strömt und sie dabei beschädigt. Sind diese Arbeiten beendigt, 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 ausgestaubt 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.

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 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

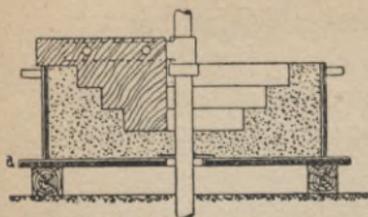


Abb. 22. Schablonenformerei.

Verdichten des Sandes besorgen. Die gebräuchlichsten Formmaschinen sind die Abhebe-, Wendepplatten-, Durchzieh- und Rüttel-formmaschinen.

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 Scheibenvrads. 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 Gußeisen 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 Oxidation

1) Die Bezeichnungen Tempern statt Glühfrischen und Temperguß statt schmiedbarer Guß werden so häufig für das oben beschriebene Frischverfahren bzw. fein 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, der nachträglich in seinen Eigenschaften verbessert worden ist, aber niemals Stahlguß.

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 den 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 Lunkerns 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 Roheisensorten (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, seiner Abscheidung beim Frischen also entgegenwirkt. Da Silizium gerade umgekehrt den Zerfall des Eisenkarbids begünstigt und einer zu starken Schwindung vorbeugt, andererseits aber

128 XI. Die Formgebung u. die mechan. u. therm. Behandlung des Eisens 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 Erzfauerstoff 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 Kohlensäure 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 an die schon entkohlten äußeren Teile Kohlenstoff abwandern lassen. Es findet dann der gleiche Vorgang, nur in umgekehrter Richtung wie bei der Zementitdarstellung 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, Gußeisen, 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 Elektro-

stahlofen erschmolzen. Der Stahlgießerei-Martin-Ofen, in dem der Stahl übrigens durchweg nach dem Schrottverfahren (vgl. S. 104) erzeugt wird, hat bei einer Fassung von 5 bis 12 t und darüber entweder saures oder basisches Futter je nach der Art der zum Einsatz bestimmten Rohstoffe und des zu erzielenden Enderzeugnisses. Siemens-Martin-Ofen 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 Kleinbesserbirnen, 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 Elektrostaalöfen 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. 47) 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 Be-

130 XI. Die Formgebung u. die mechan. u. therm. Behandlung des Eisens
arbeitung unterzogen werden. Zunächst werden die Eingüsse und ver-
lorenen Köpfe abgeschlagen bzw. abgeschnitten, worauf in der Putzerei
mit Hilfe von Putztrommeln, Sandstrahlgebläsen und anderen Vorrich-
tungen jede Unebenheit der Gußstücke beseitigt, etwa an ihnen noch
anhaltender Sand entfernt und der Oberfläche überhaupt ein ansehn-
liches 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 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 verbesserungs-
fähig. Der Geist des Fortschritts wird auch in diesem Zweige der
Technik nicht ruhen ebensowenig wie in einem anderen. Von der steten
Vervollkommnung der Technik hängt in hohem Maße die Weiterent-
wicklung unseres Wirtschaftslebens ab, das der wichtigste Grundpfeiler
für den Wiederaufbau unseres schwer geprüften Vaterlandes ist.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

Sachverzeichnis.

- Abbrand 94, 97
 Abschrecken 38, 49
 Abstechen 73
 Abtichloch 77, 85, 121
 Agglomerieren 69
 Allotropie 29
 Anblasen 86
 Anbrennen 123
 Anlassen 38
 Anlaßzustände 38
 Anthrazit 55
 Arsenies 63
 Atom 28
 Ägen 33
 Aufbereitung (Erz-) 68
 Austenit 38
 Ausgaren 109, 111
- B**
 Backkohlen 56
 Bandagenwalzwerk 119
 Basen 29
 Basische Erze 68
 Bergeversatz 89
 Bertrand-Thiel-Berf. 106
 Beschickmaschine 105
 Bessemerbirne 92
 Bessemerroheisen 25, 53, 88 93
 Bessemer-Berf. 15, 92
 Binäre Legierungen 34
 Blasebälge 9
 Blaubruck 48
 Bleche 116
 Blei in Eisenerz 85
 Blöcke 100, 116
 Bodenstein 76
 Bohnerz 65
 Bramme 116
 Brauneisenstein 65
 Braunkohle 55
 Braunkohlenförderung 22
- Brennköpfe** 101
Brennstoffe 54 ff.
Brikettierung (Erz=) 69
Briketts (Kohle=) 57
Brucheisen 25, 121
Bunker 79
- Calorie** s. Kalorie
Chargiermaschine 105
Chrom 32, 45
Converter s. Konverter
Cottrell-Möller-Berf. 91
Coquille s. Kokille
Cowper-Winderhitzer 75
- Daelen = Piszczolka = Berf.** 107
Dämpfen 86
Dampfhammer 115
Dampfmaschine 14
Darbh = Berf. 96
Dehnung 42
Desoxydation
 beim Bessemer-Berf. 96
 " Thomas-Berf. 98
 " Martin-Berf. 106
Deul 8
Direkte Eisendarstellung 8
Dolomit 68, 98
Drehrohröfen 69
Dreimalzwerk 119
Dübel 125
Düdelinger-Berf. 96
Duowalzwerk 118
Duplex = Berf. 107
Düsenstock 77
- Edelgase** 29
Ehrhardtsches Berf. 119
Einguß 124
Einschnürung 42
Einsiegmachine 105
- Einteilung des Eisens** 50
Eisen (Metall) 30
Eisen (technisches)
 Erklärung 32
 Eigenschaften 40 ff.
 Einteilung 50 ff.
 Darstellung 70 ff.
- Eisenerze**
 Förderung 17
 Vorrat 18
 Ein- und Ausfuhr 20
 Zusammensetzung 62 ff.
 Vorkommen 64 ff.
- Eisengießerei** 26, 120
Eisenglanz 64
Eisenhüttenkunde 14
Eisenkarbid 34
Eisenkarbonat 66
Eisenkohlenstofflegierungen 34 ff.
Eisenoxyd 64
Eisenportlandzement 89
Elastizität 42
Elektrische Leitfähigkeit 45
Elektrische Roheisendarstellung 86
Elektrohängebahn 82
Elektron 28
Elektrolyse 110
Elektrostahl 16, 110
Elemente (chemische) 28
Erdöl 57
Erstarrungspunkt 30, 35
Erzgiicht 81
Eutektisch 35
Eutektoid 37
- Fe (Eisenmetall)** 30
Feinerze 69
Ferrit 37
Ferromangan 88, 96, 106

- Ferrosilizium 88, 106
 Fertigerzeugnisse 116
 Festigkeit 41
 Fettkohlen 56
 Fließgrenze 42
 Flußeisen
 Geschichtliches 15
 Statistik 27,
 Erklärung 51
 Darstellung 92 ff.
 Formenebene 78, 121
 Formgebung 115
 Formmaschine 125,
 Formsand 122,
 Frischeisen 10
 Frisch-Verf. 10, 72

 Gangarten 63
 Gargang 86
 Garschaum 39
 Gasblasen 47
 Gasflammenkohlen 56
 Gaskohlen 56
 Gasheizung 59
 Gattierung 121
 Gebläse 9, 74
 Gefügebestandteile 37
 Gemenge (mechan.) 31
 Gemische (physikal.) 31
 Generatorgas 61
 Geschichte des Eisens 7
 Gestell (des Hochofens) 77
 Gewicht 76
 Gichtaufzüge 79
 Gichtgas
 Geschichtliches 15
 Zusammensetzung 59
 Verwendung 90
 Reinigung 91
 Gichtstaub 90
 Gichtverschluß 78
 Gießereifoks 59
 Gießereiroheisen 25, 53, 88
 Gießereischachtofen 120
 Gießformen 100
 Gießgrube 100
 Gießhalle 100
 Gießkran 100

 Gießlöffel 121
 Gießpfanne 100, 121
 Gießwagen 100
 Giroföfen 113
 Gleichungen (umkehrbare)
 83
 Glühen 40
 Glühfrischen 126
 Glühtöpfe 128
 Granulieren 88
 Graphit 39
 Graues Roheisen 50
 Grauguß 53
 Greywalzwerk 119
 Grüner Sand 122
 Guß (direkter und stei-
 gender) 100
 Gußeisen 53, 121
 Gußformen 122
 Gußspannungen 47, 129
 Gußstahl s. Tiegelstahl

 Halbzeug 116
 Haltpunkte 30
 Hämatit (Eisen) 53, 88
 (Erz) 64
 Hängen der Gichten 86
 Härbarkeit 49
 Härte 44
 Hartguß 122
 Hebetische 119
 Heizwert 54,
 Herdfrischen 100
 Herdguß 124
 Héroultöfen 112
 Hochofen 10, 24, 76
 Hochofengas 59, 90
 Hochofenfoks 59
 Hochofenprozeß 81 ff.
 Hochofenschlacke 88
 Hochofenschwemmsteine 89
 Hochofenzement 89
 Hoech-Verf. 107
 Holz 55
 Holzkohle 8, 57
 Holzkohlenroheisen 58
 Homogene Stoffe 31

 Indirekte Eisendarstellung
 10
 Induktionsheizung 113
 Ingots 100
 Inhomogene Stoffe 31

 Kaliberwalzen 117
 Kalk 68, 88
 Kalorie 54
 Kaltbrüchig 43
 Kaltrecken 48
 Kammwalzen 119
 Kantvorrichtungen 119
 Kapselgebläse 120
 Kastenguß 124
 Kehrwalzwerk 119
 Kellerofen 113
 Kern 123
 Kiesabbrände 66
 Kieselsäure 67, 88, 95, 97
 Kleinbessmerbirne 129
 Kleingefüge 33
 Klopfschlacke 88
 Knüppel 116
 Kohlendioxyd 54, 82
 Kohleneisenstein 66
 Kohlenoxyd 82, 95
 Kohlenack 76
 Kohlenäure s. Kohlen-
 dioxyd
 Kohlunq
 beim Hochofenprozeß 84
 " Bessmerprozeß 96
 " Thomasprozeß 98
 " Martinprozeß 106
 Kofille 100
 Koks 11, 56
 Kokszerzeugung (Höhe) 22
 Koksgericht 81
 Koksöfengas 59
 Kommunizierender Guß
 100
 Kontinuierliche Walz-
 werke 118
 Konverter 92
 Konverterauswurf 67, 95
 Körnen 88

- Korngröße 39
 Kornverfeinerung 40
 Korngefüge 40
 Korrosion 46
 Kristallisation 30
 Kübelbegichtung 70
 Kugeldruckprobe 44
 Kühlkästen 78
 Kupfer in Eisen 85
 Kupferkies 66
 Kuppelöfen 94, 120
- Ledeburit 39
 Legierungen 32
 Lehm 123
 Leitfähigkeit, elektr. 45
 Lichtbogenheizung 111
 Limonit 65
 Lösungen (flüssige und feste) 31, 32
 Luft 73
 Lunkerbildung 47
 Luppe 8, 12
 Luppenmachen 12
 Lürmannsche Schlackenform 78
- Magerkohlen 56
 Magerungsmittel 123
 Magnetereisenstein 64
 Magnetische Eigenschaften 45
 Magnetit 64
 Mangan 43, 47, 67, 85, 95, 96, 98
 Manganerze 25, 67
 Mannesmann-Verf. 119
 Martensit 38
 Martinöfen 101
 Martinroheisen 88
 Martin-Verfahren 16, 100
 Masse 122
 Masselbetten 85
 Mechanische Behandlung 43, 115
 Meiler 9
 Metalle 29
 Metallographie 34
- Metalloide 29
 Meteorereisen 62
 Minette 65
 Mischer 93
 Mischkristalle 36 ff.
 Modellbrett 124
 Modellformerei 123
 Modellplatten 125
 Møller 81
 Monell-Verf. 107
 Mulden 105
- Nachblasen 98
 Nathusiusöfen 113
 Naturgas 57
 Naturhärte 45, 52
 Nebengestein 63
 Netzgefüge 40
 Nichtmetalle 29
 Nickel 43
 Niederblasen 86
 Normen 49
- Oberkasten 124
 Dolithisches Erz 65
 Osmondit 38
 Oxydation 71
- Perlit 37
 Pfoer-Verf. 76
 Phosphor 43, 98
 Phosphorsäure 97
 Pilgerwalzwerk 119
 Platinen 116
 Portlandzement 89
 Preßkohlen 57
 Pressen 116
 Buddelöfen 11
 Buddelroheisen 25, 53, 88
 Buddelschlacken 13, 66
 Buddelverf. 11
 Purpurerz 66
 Puzzolanzement 90
- Raffinierstahl 27
 Rafeneisenerze 66
 Raft 77
- Reduktion 70
 Indirekte 81
 Direkte 82
 Regenerativgasfeuerung 101, 103
 Rennfeuer 8
 Reversierwalzwerk 119
 Röchling-Rodenhauser-Öfen 114
 Roheisen
 Geschichtliches 9
 Statistik 21 ff.
 Erklärung 50
 Darstellung 72 ff.
 Zusammensetzung 88
 Roheisenerzverf. 106
 Roheisenmischer 93
 Rohgang 86
 Rohstahlerzeugung 21
 Rohstoffe 62
 Rollgänge 119
 Rollenöfen 120
 Rosten 46
 Röstfen 70
 Rostpat 70
 Rotbrüchig 43, 48
 Roteisenstein 64
 Rückkohlen 96
- Sackwalzwerk 119
 Sandkohlen 56
 Säurebeständigkeit 46
 Saure Erze 68
 Säuren 29
 Schablonenformerei 126
 Schacht des Hochofens 77
 Schlacke (Hochofen-) 88
 Schlackenbausteine 89
 Schlackenform 77
 Schlackenzement 89
 Schleppvorrichtungen 119
 Schmelzbarkeit 46
 Schmelzpunkt 35, 46
 Schmiedbarer Guß 53, 126
 Schmiedbares Eisen
 Geschichtliches 8, 10
 Erklärung 50
 Darstellung 92 ff.

- Schmiedbarkeit 47
 Schmieden 115
 Schmiedehammer 115
 Schmiedepresse 116
 Schnellstahl 53
 Schöpfprobe 96
 Schrägaufzug 79
 Schrott 104
 Schrottrohisenverf. 104
 Schwefel 43, 68, 93
 Schwefelsies 66
 Schweißbarkeit 48
 Schweißisen
 Geschichtliches und Dar-
 stellung 8
 Statistik 27
 Erklärung 51
 Schweißschlacke 66
 Schwindmaß 46, 124
 Schwindung 46, 124
 Seigerung 47
 Selbstgehende Erze 68
 Selbsthärtende Stähle 52
 Siderit 66
 Siemens-Martin-Verf.
 16, 100
 Silizium 45, 95,
 Siliziumspiegel 88
 Sinterkohle 56
 Sorbit 34
 Spateisenstein 66
 Sphärosiderit 66
 Spiegeleisen 25, 53, 88,
 96
 Stabeisen 116
 Stahl (Erklärung) 52
 Stahlisen 25, 53, 88
 Stahlformguß 14, 128
 Stahlgießerei 128
 Stahlguß f. Stahlformguß
 Statistische Angaben 17
 Steinkohlen 55
 Steinkohlenförderung 22
 Stoßosen 120
 Streckgrenze 42
 Stripperfran 100
 Stückosen 8
 Sumpferz 66
 Surzheti-Verf. 107
 Talbot-Verf. 107
 Temperkohle 39, 128
 Tempergießerei 26, 126
 Temperguß 53, 126
 Thermische Behandlung
 115
 Thomasflußeisen 99
 Thomasphosphatmehl 99
 Thomasroheisen 25, 53,
 88, 98
 Thomaschlacke 99
 Thomas-Verf. 15, 97
 Tiegel 108
 Tiegelstahl
 Geschichtliches 13
 Statistisches 27
 Erklärung 53
 Darstellung 108
 Toneisenstein 66
 Tonerde 63, 68, 88
 Torf 55
 Triowalzwerk 119
 Troojit 38
 Überenteftisch 36
 Umwandlungstemperatur
 34
 Umwandlungszone 35
 Universalwalzwerk 119
 Untereenteftisch 36
 Unterkasten 124
 Verbrennung 54
 Verkokung 58
 Versuchsstab 42
 Vorfrischen 106
 Vorbereitung 62
 Walzen 116, 117
 Walzenständer 117
 Walzenstraße 117
 Walzenzugmaschine 119
 Walzgerüst 117
 Walzwerk 117
 Warmbetten 120
 Wärmeausgleichgruben
 120
 Wärmeeinheit 54
 Wärmespeicher 103
 Wärmewirtschaft 61
 Wärmerek-Verf. 48
 Werkstoffprüfung 49
 Widmannstätten'sches Ge-
 füge 40
 Wind 74
 Winddruck 74
 Winderhitzer 15, 75
 Windformen 77, 120
 Windfrischen 92 ff.
 Windmenge 74
 Windpfeife 125
 Wippen 119
 Wolf 8
 Zeilengefüge 40
 Zement 89
 Zementieren 13
 Zementit 37
 Zementstahl 13, 27, 109
 Zentrifugalreiniger 91
 Zerreißeftigkeit 42
 Zinkschwamm 85
 Zuschläge 25, 67
 Zustandsformen 30
 Zustandschaubild 34
 Zwiwalzwerk 119

Bergbau. Von Bergrat Dr. H. Arlt. (Teubn. Handbuch der Staats- und Wirtschaftskunde Abt. II, Bd. II, Heft 2.) Kart. RM 3.60.

In demselben Heft sind enthalten: Industrie und Industriepolitik. Von Prof. Dr. C. Koenig. — Organisation der technischen Arbeit. Von Ing. O. Schulz-Mehrin.

Der Bergbau wird als ein Teil der Urproduktion mineralischer Rohstoffe aufgefaßt und in seiner geschichtlichen sowie rechtlichen Entwicklung bei den Kulturvölkern dargestellt. Die Vorkommen der bergbaulich wichtigen Mineralien werden aus ihrem geologischen Werdegang heraus beschrieben und Vorratsmengen mitgeteilt. Die Beschreibung der Gewinnungsmethoden der einzelnen Bergbauzweige ist verbunden mit einer Produktionsstatistik der bergbautreibenden Länder. Ein Überblick über die Organisation der bergbaulichen Betriebe und die soziale Stellung des Bergarbeiters beschließen die Arbeit.

Unsere Kohlen. Eine Einführung in die Geologie der Kohlen unter Berücksichtigung ihrer Gewinnung, Verwendung und wirtschaftlichen Bedeutung. Von Bergassessor Privatdozent Dr. P. Kufuf. 3., verb. Aufl. Mit 56 Abb. im Text und 3 Tafeln. (AMuG Bd. 396.) Geb. RM 2.—

Der bereits in 3., auf den neuesten Stand gebrachten Auflage vorliegende Band vermittelt in knapper, aber umfassender und durch zahlreiche Abbildungen veranschaulichter Behandlung die heute für weiteste Kreise unerläßlichen Kenntnisse über Entstehung, Eigenschaften, Gewinnung, Verwertung und wirtschaftliche Bedeutung der Kohlen mit Einschluß des Torfes.

Energiewirtschaft. Von Prof. Dr.-Ing. W. Pauer. (Teubn. Handbuch der Staats- und Wirtschaftskunde Abt. II, Bd. II, Heft 3.) Kart. RM 1.80

Infolge des Kriegsausganges für Deutschland hat sich aus der Frage der Energiewirtschaft in kurzer Zeit ein wissenschaftliches Sondergebiet entwickelt, das für viele Zweige der Technik und Wirtschaft von Bedeutung ist. Hier soll besonders dem Volkswirt die Kenntnis der hauptsächlichsten technischen Grundlagen vermittelt werden, die für die Beurteilung der mit der Gewinnung und Verwertung von Brennstoffen und deren Ersatzstoffen verknüpften wirtschaftlichen Fragen maßgebend sind.

Natur und Werkstoff. Grundlehren der Physik, Chemie, Werk- u. Betriebsstoffkunde. Für Fachschulen, insbesondere Eisenbahnschulen und für den Selbstunterricht. Von Prof. F. Tiz. Mit 37 Abb. u. 2 Skizzentafeln. Kart. RM 2.—

Sachkunde für Maschinenbauer und verwandte Berufe. Von Gewerbeschulrat K. Uhrmann, Direktor Ing. F. Schuth und Studiendir. Ing. O. Stolzenberg. 4. u. 5. Aufl. Mit 627 Abb. Geb. RM 5.80

Maschinenbau. Von Studiendirektor Ing. O. Stolzenberg. I. Teil: Werkstoffe des Maschinenbaues u. ihre Bearbeitung auf warmem Wege. 2., erw. u. verb. Aufl. Mit 336 Abb. Geb. RM 9.— II. Teil: Arbeitsverfahren. 2., verb. Aufl. Mit 794 Abb. Geb. RM 14.— III. Teil: Methodik der Sachkunde und Sachrechnen. Mit 30 Abb. Kart. RM 2.40

„Das Bestreben, die ursächlichen Zusammenhänge in anschaulicher Art bei allen behandelten Hauptstücken klar hervorzutreten, bildet ein wesentliches Merkmal des Wertes. Zahlreiche Abbildungen unterstützen diese Absicht in bemerkenswerter Weise. Dem Buch ist eine weite Verbreitung zu wünschen, um die darin enthaltenen Früchte erfolgreicher Arbeit gleichfalls als ‚Norm‘ dem Unterricht in den Fachgewerbe- und Werkschulen zugrunde zu legen.“ (Stahl und Eisen.)

Mechanische Technologie der Maschinenbaustoffe. Von Prof. Dr. R. Escher. 2. Aufl. Mit 418 Fig. (Teubn. techn. Leitf., Bd. 6.) Kart. RM 4.—

Gibt in knapper Form eine durch zahlreiche schematische Zeichnungen veranschaulichte Darstellung der Baustoffe des Maschinenbaues, ihrer Bearbeitung auf warmem wie kaltem Wege, unter Berücksichtigung der neuesten Arbeitsverfahren, Werkzeuge und Werkzeugmaschinen.

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Sachkunde für Modelltischler und Former. In Verbindung mit Sachleuten herausgegeben von Studiendir. Ing. O. Stolzenberg. (Lehrmittel für gewerbli. Berufsschulen Heft 43.) [U. d. Pr. 1927.]

Behandelt die Werkstoffe, Werkzeuge, Maschinen- und Arbeitsverfahren dieser beiden in engster Verbindung stehenden Berufe. Auf klare Darstellungsform und gute Veranschaulichung durch Abbildungen ist besondere Sorgfalt verwandt worden. Die neuere Werkstattp Praxis mit ihren erhöhten wirtschaftlichen Anforderungen ist überall berücksichtigt worden.

Die Maschinenelemente. V. Geh. Bergrat Prof. R. Vater. 5. Aufl. Bearb. v. Prof. Dr. F. Schmidt. M. zahlr. Abb. (ANuG 301.) Geb. RM 2.— [U. d. Pr. 1927.]

„In geradezu meisterhafter Weise hat der Verfasser mit einigen Strichen stets das Wesentliche eines Maschinenteiles, einer maschinellen Einrichtung unter strenger Vermeidung alles Erschwerenden und Ablenkenden in einer Skizze festgelegt, so daß sie auf den ersten Blick verständlich ist.“ (Zeitschrift für das Berg-, Hütten- und Salinen-Wesen.)

Hebezeuge. Hilfsmittel zum Heben fester, flüssiger und gasförmiger Körper. Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. 3., erw. Aufl. Bearb. von Prof. Dr. F. Schmidt. Mit 75 Abb. im Text. (ANuG Bd. 196.) Geb. RM 2.—

In der nunmehr vorliegenden dritten Auflage ist den Fortschritten durch Verbesserungen und Ergänzungen Rechnung getragen worden. So ist ein kurzer Abschnitt über „Bremsen“ eingefügt, das Kapitel über „Turbo-Luftmaschinen“ erweitert, bei den Pumpen der „Hydropulser“ und die „Humphren-Gaspumpe“ neu behandelt worden.

Die Fördermittel. Einrichtungen zum Fördern von Massengütern und Einzellasten in industriellen Betrieben. Von Obergeringieur O. Beschstein. Mit 74 Abb. i. T. (ANuG Bd. 726.) Geb. RM 2.—

„Der Band, der Aufbau- und Wirkungsweise, Vorteile und Nachteile dieser Einrichtungen von der einfachsten Schnurre bis zur modernen Gleisanlage, Drahtseil- und Elektrohängebahn schildert, gehört als praktischer, gut und sicher unterrichtender Führer für die richtige Auswahl in die Hand eines jeden, der im industriellen Leben steht.“ (Verkehrstechnische Woche.)

Die Dampfmaschine. Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. Neubearbeitet von Prof. Dr. F. Schmidt. I. Wirkungsweise des Dampfes im Kessel und in der Maschine. 5. Aufl. Mit 38 Abb. II. Ihre Gestaltung und Verwendung. 4. Aufl. Mit 93 Abb. (ANuG Bd. 393/394.) Geb. je RM 2.—

Die Bändchen geben eine anschauliche Darstellung der inneren Vorgänge im Dampfkessel und der Dampfmaschine und zeigen deren wesentliche Bauarten und vielseitige Verwendbarkeit.

Die neueren Wärmekraftmaschinen. Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. Neubearbeitet von Prof. Dr. F. Schmidt. 2 Bände. I. Einführung in die Theorie und den Bau der Gasmaschinen. 6. Aufl. Mit 45 Abb. im Text. II. Gaserzeuger, Großgasmaschinen, Dampf- und Gasturbinen. 5. Aufl. Mit 46 Abb. (ANuG Bd. 21 u. 86.) Geb. je RM 2.—

Grundlagen der Elektrotechnik. Von Obergeringieur A. Roth. 3. Aufl. Mit 70 Abb. (ANuG Bd. 391.) Geb. RM 2.—

Das Bändchen führt in das Verständnis der Erscheinungen und Gesetze ein, die den Apparaten und Maschinen der Elektrotechnik zugrunde liegen. Ihre Wirkungsweise, ihr Bau und ihre Verwendung werden zumeist an der Hand schematischer Abbildungen beschrieben.

Die elektrische Kraftübertragung. Von Ing. P. Köhn. 2. Aufl. Mit 133 Abb. (ANuG Bd. 424.) Geb. RM 2.—

„Eine gediegene Arbeit, die in ihrer treffenden Kürze und in ihrer leichtfaßlichen und dabei doch streng sachlichen Darstellung allen willkommen sein wird, die sich über die wissenschaftlichen Grundlagen und die technischen Mittel und Einrichtungen der Kraftübertragung mittels des elektrischen Stromes unterrichten wollen.“ (Rundschau für Technik und Wirtschaft)

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Buchstabenrechnen für Metallarbeiterklassen an gewerblichen Berufsschulen, für Werkschulen und verwandte niedere Fachschulen der Maschinenindustrie. Von Studienrat Dipl.-Ing. Prof. Dr. S. Jakob i u. Maschinenbauschuloberlehrer A. Schlie. 2. Aufl. Mit 26 Abb. (Lehrm. f. gew. Berufsschul., Heft 5.) Kart. RM 1.20

Dr. E. Bardens arithmetische Aufgaben nebst Lehrbuch der Arithmetik für Metallindustrieschulen, vorzugsweise für Maschinenbauschulen (Werksmeistereschulen), die Unterstufe der höheren Maschinenbauschulen und verwandte technische Lehranstalten. Bearb. von Studienrat Dipl.-Ing. Prof. Dr. S. Jakob i und Maschinenbauschuloberlehrer A. Schlie. 8. Aufl. Mit 81 Abb. im Text und auf Tafeln. Kart. RM 4.40

Lehrbuch der Rechenvorteile. Schnellrechnen und Rechenkunst. Von Ing. Dr. phil. H. Bojko. 2. Aufl. Mit zahlr. Übungsbeisp. (ANuG Bd. 739.) Geb. RM 2.—

Praktische Mathematik. Von Prof. Dr. R. Neuendorff. 2 Bände. (ANuG Bd. 341 u. 526.) Geb. je RM 2.—

I. Graphische Darstellung. Verkürztes Rechnen. Das Rechnen mit Tabellen. Mechanische Rechenhilfsmittel. Kaufmännisches Rechnen im täglichen Leben. Wahrscheinlichkeitsrechnung. 3. Aufl. Mit 29 Figuren im Text und 1 Tafel. II. Geometrisches Zeichnen. Projektionslehre. Flächenmessung. Körpermessung. Mit 133 Figuren.

Theorie und Praxis des logarithm. Rechenstabes. Von Oberstudien- direktor A. Rohrb erg. 3. Aufl. Mit 2 Fig. (Math.-Physf. Bibl. 23.) Kart. RM 1.20

Das außerordentlich anschaulich geschriebene Büchlein gibt eine Anleitung zum Verständnis des Rechenstabes. Es wird gezeigt, wie ein einfaches Rechenstabmodell angefertigt und wie nicht nur einfache Rechnungen als Multiplikationen und Divisionen, sondern auch zusammengesetzte, wie Tabellenaufstellung und die Auflösung quadratischer und kubischer Gleichungen mittels des Rechen- stabes rasch und leicht durchgeführt werden können.

Funktionen, Schaubilder und Funktionstabeln. Eine elementare Ein- führung in die graphische Darstellung und in die Interpolation. Von Ober- studienrat Prof. Dr. A. Witting. Mit 26 Fig. im Text, 3 Tafeln und zahl. Aufgaben. (Math.-Physf. Bibl. Bd. 48.) Kart. RM 1.20

Elementarmathematik und Technik. Eine Sammlung elementarmathe- matischer Aufgaben mit Beziehungen zur Technik. Von Prof. Dr. R. Rothe. (Math.-Physf. Bibl. Bd. 54.) Mit 70 Abb. Kart. RM 1.20

„Der große Vorzug dieses Buches ist darin zu suchen, daß die Aufgaben in weitgehendster Weise der wirklichen Praxis entnommen sind und nicht am grünen Tische gemacht wurden. Die langjährige Lehrererfahrung des Verfassers wird hier in vorzüglicher Weise ausgewertet, und es ist zu hoffen, daß dadurch vielen, die lehrend die angewandte Mathematik behandeln, ein gutes Beispiel und manche Anregung gegeben wird. Das Buch ist auf das Wärmste zu empfehlen. (Der elektr. Betrieb.)

Mathematische Aufgaben aus der Technik. 89 Aufgaben mit 350 Unter- aufgaben und Lösungen. Von Studienrat Dr. M. Hauptmann. Mit 115 Abb. Kart. RM 3.60

Die aus zehn verschiedenen Gebieten der Technik und ihrer Geschichte entnommenen Aufgaben wollen die mathematischen Begriffsbildungen und Sätze in praktischer Anwendung lebendig und damit tieferer Erfassung zugänglich machen. Durch die ausführlichen Lösungen auch zum Selbst- unterricht geeignet, werden die meist in bestimmten Zahlen und Abmessungen gegebenen Aufgaben den Sinn für Maß und Zahl fördern und das Gefühl der Verantwortlichkeit für ein auch numerisch richtiges Ergebnis stärken.

Lehr- und Aufgabenbuch der Geometrie. Ausgabe B: Für höhere Gewerbe- schulen, Maschinenbauschulen und verwandte technische Lehranstalten. Von Dr. H. Grünbaum. Neubearb. von Studiendirektor Prof. Dr. G. Wiegner. I. Teil: Planimetrie und Stereometrie. 3. Aufl. Mit 286 Fig. im Text. Kart. RM 4.—. II. Teil: Trigonometrie. 2. Aufl. Mit 65 Fig. im Text. Kart. RM 1.80

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Projektionslehre. Die rechtwinklige Parallelprojektion und ihre Anwendung auf die Darstellung technischer Gebilde nebst einem Anhang über die schiefwinklige Parallelprojektion in kurzer, leicht faßlicher Behandlung für Selbstunterricht und Schulgebrauch. Von akad. Zeichenlehrer A. Schudeischn. 2. Aufl. Mit 165 Fig. (ANuG Bd. 564.) Geb. RM 2.—

Einführung in die darstellende Geometrie. Von Prof. P. B. Fischer. Mit 59 Fig. i. T. (ANuG Bd. 541.) Geb. RM 2.—

Als Anleitung für den Selbstunterricht bietet der Band die Grundlehren an der Hand der wichtigsten Aufgaben, die sich auf alle Gebiete der darstellenden Geometrie erstrecken.

Zeichnen fürs werktätige Leben. Seine Grundlegung in der Volksschule für die Hand des Lehrers bearbeitet von Berufsschulvorsteher und staatlichem Berufsschulrevisor W. Knapp. Mit 200 Abb. Kart. RM 4.—

Aufgaben aus der technischen Mechanik für den Schul- und Selbstunterricht. Von Prof. N. Schmitt. I. Bewegungslehre, Statik und Festigkeitslehre. 2. Aufl. 240 Aufgaben u. Lösungen. Mit zahlr. Fig. im Text. II. Dynamik und Hydraulik. 2. Aufl. Von Studiendirektor Prof. Dr. G. Wiegner. 198 Aufgaben und Lösungen. Mit zahlr. Fig. i. T. (ANuG Bd. 558/559.) Geb. je RM 2.—

„Eine ganz vorzügliche Sammlung von typischen Aufgaben samt ausgeführten Lösungen, welche einer auf Arbeitsfreudigkeit der Schüler glänzlich abzielenden Unterrichtstätigkeit entsprossen, selbst den bereits erwerbstätigen Techniker noch zu fesseln und zu fördern vermögen.“ (Fachschule.)

Die Ausbildung für den technischen Beruf in der mechanischen Industrie. (Maschinenbau, Schiffbau, Elektrotechnik.) Hrsg. vom Deutschen Ausschuss für technisches Schulwesen. 4. Aufl. RM —.80

Einführung in die Technik. Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. H. Lorenz. (ANuG Bd. 729.) Geb. RM 2.—

„Das Buch ist außerordentlich fesselnd geschrieben und erfüllt seinen Zweck mit vollendeter Klarheit. Zur Erleichterung des Verständnisses werden zahlreiche Anwendungsbeispiele herangezogen und durch bildliche Darstellung erläutert. Das Buch konnte nur von einem Manne geschrieben werden, der das ganze Gebiet der Technik als Selbstschaffender beherrscht und zugleich über eine hervorragende Darstellungsgabe verfügt.“ (Helios.)

Schöpfungen der Ingenieurtechnik der Neuzeit. Von Geh. Reg.-Rat M. Geitel. 2. Aufl. Mit 31 Abb. (ANuG Bd. 28.) Geb. RM 2.—

„Mit seltenem Geschick hat es der Verfasser verstanden, aus der großen Zahl hervorragender Schöpfungen die richtige Auswahl zu treffen und in lichtvoller Darstellung auch dem Laien einen Begriff von ihrer Größe zu geben.“ (Dinglers Polytechnisches Journal.)

Betriebswirtschaftslehre. Von Prof. Dr. E. Geldmacher. (Teubn. Handbuch der Staats- und Wirtschaftskunde, Abt. II, Bd. II, Heft 4.) 2. Aufl. [U. d. Pr. 1927.]

Zeitgemäße Betriebswirtschaft. Von Direktor Dr.-Ing. G. Peiseler. I. Teil: Grundlagen. Geb. RM 4.—, geb. RM 6.—

Arbeitskunde. Grundlagen, Bedingungen und Ziele der wirtschaftlichen Arbeit. Unter Mitwirkung zahlreicher Sachleute hrsg. von Dr.-Ing. J. Riedel. Mit 35 Abb. im Text und auf 2 Tafeln. Geb. RM 15.—

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Teubners kleine Fachwörterbücher

geben rasch und zuverlässig Auskunft auf jedem Spezialgebiete und lassen sich je nach den Interessen und den Mitteln des Einzelnen nach und nach zu einer Enzyklopädie aller Wissenszweige erweitern.

„Mit diesen kleinen Fachwörterbüchern hat der Verlag Teubner wieder einen sehr glücklichen Griff getan. Sie ersetzen tatsächlich für ihre Sondergebiete ein Konversationslexikon und werden gewiß großen Anklang finden.“ (Deutsche Warte.)

„Die Erklärungen sind sachlich zutreffend und so kurz als möglich gegeben, das Sprachliche ist gründlich erläutert, das Wesentliche berücksichtigt. Die Bücher sind eine glückliche Ergänzung der Bände „Aus Natur und Geisteswelt“ des gleichen Verlags. Selbstverständlich ist dem neuesten Stande der Wissenschaft Rechnung getragen.“ (Sächsische Schulzeitung.)

Bisher erschienen:

- Philosophisches Wörterbuch** von Studentrat Dr. P. Thormeyer. 3. Aufl. (Bd. 4.) Geb. RM 4.—
- ***Psychologisches Wörterbuch** von Privatdozent Dr. F. Giese. 2. Aufl. Mit zahlr. Fig. (Bd. 7.)
- Wörterbuch zur deutschen Literatur** von Oberstudienrat Dr. H. Köhl. (Bd. 14.) Geb. RM 3.60
- Musikalisches Wörterbuch** von Prof. Dr. H. J. Moser. (Bd. 12.) Geb. RM 3.20
- ***Kunstgeschichtliches Wörterbuch** von Dr. H. Vollmer. (Bd. 16.)
- Physikalisches Wörterbuch** von Prof. Dr. G. Berndt. Mit 81 Fig. (Bd. 5.) Geb. RM 3.60
- Chemisches Wörterbuch** von Prof. Dr. H. Remy. Mit 15 Abb. u. 5 Tabellen. (Bd. 10/11.) Geb. RM 8.60, in Halbn. RM 10.60
- ***Astronomisches Wörterbuch** von Dr. J. Weber. (Bd. 13.)
- Geographisches Wörterbuch** von Prof. Dr. O. Kende. Allgemeine Erdkunde. Mit 81 Abb. (Bd. 8.) Geb. RM 4.60
- Zoologisches Wörterbuch** von Dr. Th. Knottnerus-Meyer. (Bd. 2.) Geb. RM 4.—
- Botanisches Wörterbuch** von Prof. Dr. O. Gerke. Mit 103 Abb. (Bd. 1.) Geb. RM 4.—
- Wörterbuch der Warenkunde** von Prof. Dr. M. Pietsch. (Bd. 3.) Geb. RM 4.60
- Handelswörterbuch** von Handelschuldirektor Dr. V. Sittel und Justizrat Dr. M. Strauß. Zugleich fünfssprachiges Wörterbuch, zusammengestellt v. V. Armhaus, verpfl. Dolmetscher. (Bd. 9.) Geb. RM 4.60

* (in Vorbereitung bzw. unter der Presse 1926)

Grundzüge der Länderkunde

Von Prof. Dr. A. Hettner. 2 Bde. m. 466 Rärtchen, 4 Taf. u. Diagr. i. Z.
I.: Europa. 3., verb. Aufl. Geh. RM 11.—, in Ganzl. RM 13.—. II.: Die außereuropäischen Erdteile. 3., verb. Aufl. Geh. RM 14.—, in Ganzleinen RM 16.—

„Hier haben wir das, was uns gefehlt hat, ein Buch von Meisterhand geschrieben, für die weiten Kreise der Gebildeten. Das Werk ist reich an neuen Gedanken. Ein Prachtsstück ist z. B. der großartige Überblick über die politische Geschichte Europas vom geographischen Standpunkt gesehen.“
(München-Augsburger Abendzeitung.)

Allgemeine Wirtschafts- u. Verkehrsgeographie

V. Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. K. Sapper. Mit 70 Kartogr. Darst. Geh. RM 12.—

„Ein erstaunliches Werk! — Erstaunlich durch die Fülle des darin gebotenen wissenschaftlichen Inhaltes, in dem ein seltener Reichtum eigener Erfahrungen des weitgereisten Verfassers verwebt ist und der noch durch eine ungewöhnlich umfangreiche und wertvolle Literaturangabe ergänzt wird... Sappers 'Allgemeine Wirtschafts- und Verkehrsgeographie' muß schlechthin als 'erschöpfend' bezeichnet werden.“
(Neues Land.)

Anthropologie

Unt. Red. v. Geh. Med.-Rat Prof. Dr. G. Schwalbe u. Prof. Dr. E. Fischer.
M. 29 Abb.-Taf. u. 98 Abb. i. Z. (Die Kultur d. Gegenw., hrsg. v. Prof. Dr. P. Hinneberg. Teil III, Abt. V.) RM 26.—, geb. RM 29.—, in Halbl. RM 34.—

Eine Gesamtdarstellung der Urgeschichte, Menschen- und Völkertunde.

Physik

Unt. Red. v. Hofrat Prof. Dr. E. Lecher. 2., verb. u. verm. Aufl. Mit 116 Abb.
(Die Kultur d. Gegenw., hrsg. v. Prof. Dr. P. Hinneberg. Teil III, Abt. III, Bd. 1.) Geh. RM 34.—, geb. RM 36.—, in Halbleder RM 40.—

„Der Herausgeber hat ein Werk geschaffen, das in geradezu vorbildlicher Weise die Wissenschaft popularisiert. Die einzelnen Abschnitte sind von den ersten Autoritäten bearbeitet, und zwar so, daß sie weitesten Kreisen verständlich sind.“
(Der elektrische Betrieb.)

Grundriß der Astrophysik

Eine allgemeinverständliche Einführung in den Stand unserer Kenntnisse über die physische Beschaffenheit der Himmelskörper. Von Prof. Dr. R. Graff. [Erscheint Anfang 1927.]

Inhalt. I. Teil. Die astrophysikalischen Forschungsverfahren. 1. Physikalische Grundlagen. 2. Die Himmelsphotographie. 3. Die Spektralanalyse. 4. Die Photometrie. II. Teil. Die Ergebnisse der astrophysikalischen Forschung. 5. Die Sonne. 6. Die Weltkörper des Sonnensystems. 7. Die Fixsterne, Nebelflecke und Sternhaufen.

Teubners Naturwissenschaftliche Bibliothek

„Die Bände dieser vorzüglich geleiteten Sammlung stehen wissenschaftlich so hoch und sind in der Form so gelehrt und so ansprechend, daß sie mit zum Besten gerechnet werden dürfen, was in volkstümlicher Naturkunde veröffentlicht worden ist.“
(Natur.)

Verzeichnis vom Verlag, Leipzig, Poststraße 3, erhältlich.

Mathematisch-Physikalische Bibliothek

Herausgeg. von W. Liehmann u. A. Witting. Jeder Band RM 1.20,
Doppelband RM 2.40

„Jede der einzelnen Darstellungen ist mustergültig in ihrer Art und vermag den Zweck voll zu erfüllen, in leichtverständlicher und angenehmer Weise zur Vertiefung der mathematischen Bildung beizutragen. Die Sammlung wird auf das allernächtigste empfohlen.“
(Die Quelle.)

Verzeichnis vom Verlag, Leipzig, Poststr. 3 erhältlich.

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Künstlerischer Wand schmuck für Haus und Schule

Teubners Künstlersteinzeichnungen

Wohlfeile farbige Originalwerke erster deutscher Künstler fürs deutsche Haus
Die Samml. enthält jetzt über 200 Bilder in den Größen 100×70 cm (RM 10.-), 75×55 cm (RM 9.-), 103×41 cm bzw. 93×41 cm (RM 6.-), 60×50 cm (RM 8.-), 55×42 cm (RM 6.-), 41×30 cm (RM 4.-), 7 kleine Kunstblätter: 24×18 cm je RM 1.— **Geschmackvolle Rahmung** aus eigener Werkstatt.

Neuerscheinungen:

Zwei Weihnachtbilder und zwei Osterbilder von R. Kämmerer.

1. Morgen Kinder, wird's was geben. 2. Vom Himmel hoch da komm ich her. — 1. Ostern, Ostern ist es heut'. 2. Osterhase schleicht ums Haus. (41×20 cm) Preis je RM 3.—
Postkartenausgabe je RM —.15. Bilder einzeln gerahmt in weißem Rahmen unter Glas je RM 8.25, die zusammengehörigen Bilder als Wandfries gerahmt je RM 18.50.
Postkarten unter Glas mit schwarzer Einfassung, mit Aushängeschnur je RM —.65,
in schwarz poliertem Rahmen mit Glas je RM —.85

Schattenbilder

R. W. Diefenbach „Per aspera ad astra“. Album, die 34 Teils. des vollst. Wandfrieses sortlosend wiederg. (25×20¹/₂ cm) RM 15.—, Teilsbilder als Wandfries (80×42 cm) je RM 5.—, (95×18 cm) je RM 1.25, auch gerahmt i. verschied. Ausfüh. erhältlich.
„Göttliche Jugend“. 2 Mappen, mit je 20 Blatt (34×25¹/₂ cm) je RM 7.50. Einzelbilder je RM —.60, auch gerahmt in versch. Ausfüh. erhältlich.

Kindermusik. 12 Blätter (34×25¹/₂ cm) in Mappe RM 6.—, Einzelblatt RM —.60
Gerda Luise Schmidts Schattenzeichnungen (20×15 cm) je RM —.50.
Auch gerahmt in verschiedenen Ausührungen erhältlich. Blumenotakel. Kessenspiel. Der Besuch. Der Liebesbrief. Ein Frühlingstrauch. Die Freunde. Der Brief an „Dhn“. Annäherungsversuch. Am Spinnet. Beim Wein. Ein Märchen. Der Geburtstag.

Friese zur Ausschmückung von Kinderzimmern

Neu: „Die Wanderschaft der drei Wichtelmännchen.“ Zwei farbige Wandfriesse von M. Ritter. 1. Abschied - Kurze Raft. 2. Hochzeit - Tanz. Jeder Fries mit 2 Bildern (103×41 cm) RM 6.—, jedes Bild einzeln RM 3.—
Ferner sind erschienen Herrmann: „Aschenbrödel“ u. „Kostäppchen“; Baumann: „Die sieben Schwaben“; Nehm-Dietor: „Schlafaspenleben“, „Schlafaspenland“, „Englein zur Wacht“ und „Englein 3. Hui“ (103×41 cm, je RM 6.—).

Rudolf Schäfers Bilder nach der Heiligen Schrift

Der barmherzige Samariter, Jesus der Kinderfreund, Das Abendmahl, Hochzeit zu Kana, Weihnachten, Die Bergpredigt (75×55 bzw. 60×50 cm). RM 9.— bzw. RM 8.—
Diese 6 Blätter in Format **Biblische Bilder** in Mappe RM 4.50, als Einzelblatt je RM —.75

Karl Bauers Federzeichnungen

Charakterköpfe zur deutschen Geschichte. Mappe, 32 Bl. (36×28 cm) RM 5.—
12 Bl. RM 2.—
Aus Deutschlands großer Zeit 1913. In Mappe, 16 Bl. (36×28 cm) RM 2.50
Führer und Helden im Weltkrieg. Einzelne Blätter (36×28 cm) RM —.50
2 Mappen, enthaltend je 12 Blätter, je RM 1.—

Teubners Künstlerpostkarten

Jede Karte RM —.10, Reihe von 12 Karten in Umschlag RM 1.—.

Jede Karte auch gerahmt. Verzeichnis vom Verlag in Leipzig.

Ausführlicher Wand schmuck katalog für RM —.75 vom Verlag, Leipzig, Postfr.3 erhältlich.

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



I-301681

10901



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000296127