©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

# Das Eisen,

## seine Gewinnung und seine Eigenschaften.

Von

**Ing. Dr. Alfons Leon,**

a. ö. Professor der deutschen Techn. Hochschule in Brünn.

---

Vortrag, gehalten den 10. Januar 1917.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Der Wert der auf unserem Planeten in einem Jahre gewonnenen Menge an Gold und Silber, der sich auf rund drei Milliarden Kronen beläuft, wird vom Werte der Kohle uud des Eisens, die in der gleichen Zeit gewonnen, bezw. erzeugt werden, um mehr als das Sechsfache übertroffen. Wir bedürfen der Kohle als der wichtigsten Quelle mechanischer Energie und des Eisens als des hauptsächlichsten Werkstoffes für den Bau von Maschinen und diese dienen ja der Umwandlung der Energie. Es ist daher berechtigt zu sagen: Kohle und Eisen beherrschen die Welt. In den Eisenbahnen, deren Netz eine Länge von rund einer Million Kilometern hat und die im Bau und Betrieb außerordentliche Mengen an Eisen verbrauchen — in Friedenszeiten sind die Eisenbahnen und Schiffswerften die größten Eisenverbraucher — steckt ein Kapital von etwa 235 Milliarden Kronen, das, abgesehen von den Kosten des gegenwärtigen Krieges, größer ist als die Summe der Staatsschulden aller Länder der Welt.[1])

An Roheisen wurden 1913 erzeugt: von den Vereinigten Staaten Nordamerikas 31·5, von Deutschland 19·3, von Großbritannien 10·6, von Frankreich 5·1,

[1]) Mitteilungen des k. k. Technischen Versuchsamtes in Wien, 1916, 3. Heft, S. 12.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



von Rußland 4·7, von Österreich-Ungarn 3 und von Belgien 2·5 Millionen Tonnen (1 Tonne = 1000 kg). An Kohle wurden im selben Jahre gefördert: in den Vereinigten Staaten 517, in Großbritannien 292, in Deutschland 279, in Österreich 53, in Frankreich 40, in Rußland 31, in Belgien 23 Millionen Tonnen. Bezüglich der Erzeugung von Roheisen steht Österreich-Ungarn an sechster, Deutschland an zweiter, bezüglich der Förderung von Kohle Deutschland an dritter, Österreich-Ungarn an vierter Stelle.

Man hat ausgerechnet, daß Großbritannien und die Vereinigten Staaten Kohlenschätze besitzen, die an 300 Jahre, Frankreich solche, die an 350 Jahre, Deutschland aber solche, die an 800 Jahre brauchen werden, um erschöpft zu sein. Die Eisenerzvorräte sollen in kürzerer Zeit aufgebraucht sein. Von den Vorräten Deutschlands an Eisenerzen fallen zwei Drittel auf Lothringen (und Luxemburg), woraus man ersieht, wie außerordentlich wichtig die seinerzeitige Angliederung dieser Provinz an Deutschland war.

Bis zum Jahre 1890 hatte in der Erzeugung des Roheisens England die Führung. Es wurde zunächst von den Vereinigten Staaten, dann aber auch von Deutschland geschlagen. Bezüglich der Gewinnung der Kohle wird England aber auch heute noch nur von der Union übertroffen. Vor der Jahrhundertwende stand auch hier England an erster Stelle. Neben der Eisenerzeugung der Vereinigten Staaten, von Deutschland und Großbritannien ist auch jene Frankreichs

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



für den Weltmarkt von Bedeutung. Die Eisenerzeugung Rußlands ist gleichfalls in rascher Entwicklung begriffen: sie hat in den letzten Friedensjahren jene von Österreich-Ungarn und Belgien namhaft übertroffen.

Vom Dreißigjährigen Krieg an bis zu seiner nationalen Vereinigung war Deutschland ein armes Land. Sein industrieller Aufschwung begann nach seiner nationalen Einigung im Jahre 1870. Einen Markstein für die Entwicklung der deutschen Eisenindustrie stellt die 1879 erfolgte Einführung von Eisenzöllen dar, welche die damals übermächtige Konkurrenz des Auslandes (England) abwehrte. Jetzt dürften in Deutschland etwa eine Viertelmillion Menschen damit beschäftigt sein, aus den Erzen Eisen zu gewinnen, und die doppelte Anzahl, um Kohle zu fördern.

Zur Durchführung einer möglichst einheitlichen Preispolitik haben sich in den meisten eisenerzeugenden Ländern die Eisenwerke zu Verbänden zusammengeschlossen. In unserer Monarchie einigt ein 1902 geschlossener Vertrag die Eisenwerke bis Ende 1917 (Eisenkartell), der, wie die letzten Zeitungsmeldungen besagen, vorläufig nicht erneuert werden soll. — — —

Gediegenes Eisen bietet unser Planet nur in so geringen Mengen, daß es für technische Bedürfnisse gar nicht in Betracht kommt. Irdisches, d. h. aus dem Innern der Erde stammendes, gediegenes Eisen findet sich in Ovifak auf der grönländischen Insel Disko, wo Basalt von metallischem Eisen durchsetzt ist. Meteoreisen ist eine Legierung, die hauptsächlich aus Eisen

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



und Nickel besteht, mit einem Gehalt an Nickel bis zu 20 v. H. Die uns bekannten Massen an Meteoreisen werden insgesamt auf 20 Waggonladungen zu je 10.000 kg geschätzt, kommen also für technische Bedürfnisse gar nicht in Betracht, braucht doch unsere Doppelmonarchie allein im Tag die vierzigfache Menge. Derzeit (im Kriege) erzeugt Deutschland im Tag 5000 bis 6000 Waggonladungen Flußeisen und Stahl! Reich ist unsere Erde an Verbindungen des Eisens mit anderen Elementen, besonders mit Sauerstoff, die, wenn sie sich technisch und wirtschaftlich zur Darstellung des Eisens im großen eignen, „Eisenerze" genannt werden. Als solche kommen besonders in Betracht: der Roteisenstein oder Hämatit (Eisenglanz, Eisenrahm, Bluterz, roter Glaskopf), es ist dies das wasserfreie Eisenoxyd mit der chemischen Formel $Fe_2O_3$; der Magneteisenstein oder Magnetit, ein sehr eisenreiches und meist reines Erz mit dem chemischen Zeichen $FeO . Fe_2O_3$ (Eisenoxyduloxyd); das sehr häufige, wasserhaltige Oxyd ($Fe_2O_3 . 3H_2O$, Ferrioxyhydrat), Brauneisenerz oder Limonit genannt, mit seinen Abarten: Raseneisenerz und Minette; der Spateisenstein oder Siderit ($FeCO_3$, Eisenoxydulkarbonat). Toneisenstein ist ein mit Ton, Kohleneisenstein ein mit Ton und Kohle vermengter Spateisenstein.

In Österreich-Ungarn finden sich Eisenerze: bei Eisenerz in Steiermark (der Erzberg, auf dem der jahrhundertalte Ruf der Eisenindustrie in der Steiermark und in Kärnten beruht, besteht hauptsächlich

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



aus Spat- und in geringerem Maße aus Brauneisenstein); bei Nucitz in Böhmen (Kohleneisenstein); bei Gömör in Nordungarn (Spateisenstein); bei Hunyad in Südostungarn (Braun- und Spateisenstein) und bei Varés in Bosnien (Roteisenstein). Nur in Böhmen findet sich Steinkohle (bei Kladno) nahe den Eisenerzen, sonst muß Kohle auf weitere Strecken herangeschafft werden — Steiermark bezieht Kohlen aus Böhmen und dem mährisch-schlesischen Kohlengebiet — ist also für manche Orte mit einer nicht unbeträchtlichen Fracht belastet. Die Hauptmenge der in Österreich zur Eisenerzeugung benötigten Kohle stammt aus dem Steinkohlenbezirk in Mährisch-Ostrau—Karwin. Meist werden die Eisenerze dort „verhüttet", d. h. zu Eisen verarbeitet, wo Kohle in unmittelbarer Nähe ist, denn die zur Eisenerzeugung benötigte Kohle wiegt mehr als das der Kohle entsprechende Eisenerz; daher ist es wirtschaftlicher, das Eisenerz zu verfrachten und nicht die Kohle. Es wandert also in der Regel das Erz zur Kohle. So gehen z. B. steirische und kärntnerische (Hüttenberg) Erze nach Mähren (Witkowitz) und Schlesien (Trzynietz).

In Österreich stehen Eisenhochöfen in Donawitz, Hieflau, Vordernberg und Eisenerz (Steiermark), in Witkowitz (Mähren), Kladno, Königshof (Böhmen), Trzynietz und Oderberg (Schlesien) und Servola bei Triest.[1]) Sie sind Eigentum der Alpinen Montangesell-

---

[1]) Vor wenigen Jahren bestanden noch Hochöfen in Zöptau (ausgeblasen 1907) und in Stefanau (bis 1913). Zur

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



schaft, bezw. der Witkowitzer Bergbau- und Eisenhüttengewerkschaft, der Prager Eisenindustriegesellschaft, der Österr. Berg- und Hüttenwerkgesellschaft, der Röhrenwalzwerke Hahn und der Krainischen Industriegesellschaft, welch letztere ihren Sitz in Aßling hat. Ausschließlich eigene Erze verarbeiten die Alpine Montangesellschaft (Donawitz, Eisenerz) und die Prager Eisenindustriegesellschaft (Kladno). Ausländische Erze werden in Servola verhüttet. In Witkowitz werden Erze verhüttet, welche werkseigene Erzbergbaue in Ungarn und Schweden zu Tage fördern. Auch die Österr. Berg- und Hüttengewerkschaft hat in Schweden eigene Erzbergbaue (Magneteisenerz), ebenso in Oberungarn (Brauneisenstein). Ein großer Teil der in Witkowitz und Trzynietz verarbeiteten fremden Erze nimmt den Weg auf dem Wasser Oder aufwärts bis Kosel, also fast an Ort und Stelle der Verhüttung. Die inländischen in Witkowitz verarbeiteten Erze — sie stammen aus Hüttenberg in Kärnten — müssen allerdings mit der viel teureren Eisenbahn befördert werden.[1]) Nach Servola

---

Verhüttung gelangten meist eigene Erze aus nordmährischen Gruben.

[1]) Trzynietz verhüttet zumeist oberungarische Erze aus eigenen Gruben, dann schwedische, steirische, manchmal auch bosnische Erze. Witkowitz hat die aufgelassenen Erzgruben der Zöptauer und Stefanauer Bergbau- und Eisenhütten-A.-G. angekauft und wird jetzt — gezwungen durch die außerordentlichen Verhältnisse — diese Bergbaue (Braun- und Roteisenstein bei Sternberg in Mähren) von neuem anfahren.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



kamen sowohl die Kohlen als auch die Erze zu Schiff über die See, bis der Krieg die weitere Zufuhr unmöglich machte und — nach Verarbeitung der aufgestapelten Vorräte — die Hochöfen stillgelegt werden mußten. Mit Ausnahme der steiermärkischen Werke und jenes von Servola sind alle im Besitze eigener Steinkohlengruben, die einen zur Eisenerzeugung brauchbaren Koks geben. Die Alpine Montangesellschaft muß Koks aus Schlesien und Westfalen beziehen, da die steiermärkischen Kohlen (Braunkohlen) zwar zum Betriebe der Generatoren (Gaserzeuger), nicht aber zur Herstellung entsprechend harten Koks verwendet werden können; sie besitzt allerdings in Poremba (Schlesien) eine Steinkohlengrube und eine Kokerei, wie man sagt einen „Orlauer", welche die Hochöfen bei Donawitz teilweise versorgt. Ungarn hat Hochöfen in Diós-Györ, Krompach, Resicza und Nadrag. Sie verarbeiten ausschließlich eigene Erze. In Bosnien stehen Hochöfen in Varés. — — —

Das Eisen, wie es die Technik verwendet, ist kein chemisch reines Eisen, sondern eine Eisenkohlenstofflegierung, die in geringen Mengen noch andere Nebenbestandteile, wie Silizium, Mangan, Schwefel und Phosphor enthält. Das reine Eisen wäre in der Herstellung zu teuer und auch nicht hart genug. Schon geringe Mengen von Kohlenstoff genügen, um Festigkeit und Härte bedeutend (auf das Dreifache des ursprünglichen Wertes) zu erhöhen. Der härteste (kohlenstoffreichste) Stahl enthält nicht mehr als 1·6 v. H.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



Kohlenstoff. Ein eine gewisse Grenze übersteigender Kohlenstoffgehalt vermindert die Festigkeit und Härte wieder, während die Sprödigkeit weiter zunimmt.

Manche Erze können ohne jegliche Vorbereitung zu Eisen verarbeitet werden, andere bedürfen wieder einer solchen. Bei dem ungeheuren Bedarf an Eisen und dessen verhältnismäßig geringem Preis verbieten sich kostspielige Vorbereitungen von selbst. Bei Magneteisenstein benützt man manchmal dessen magnetische Eigenschaft, um nach entsprechender Zerkleinerung des erzhaltigen Materials das Erz vom tauben Gestein zu trennen. Beim Fall durch ein magnetisches Feld werden die eisenreichen Teile des vorher zerkleinerten Materials von der normalen Fallrichtung abgelenkt nnd auf diese Weise vom tauben Gestein getrennt (Erzseparatoren). Das an Eisen möglichst angereicherte Material wird zu Briketten gepreßt und dann verhüttet.

Auch die Spülkraft des Wassers, die das taube Gestein leichter fortschleppt als die spezifisch schwereren, eisenhältigen Teile, wird manchmal (und zwar in Schweden), aber selten zu ähnlichen Zwecken benützt.

Bei Spateisenstein und seinen Abarten ist es Regel, eine vorbereitende Arbeit vorzunehmen, nämlich das „Rösten“, wodurch aus dem Erz die Kohlensäure ausgetrieben wird. Durch die Hitze verwandelt sich der Spateisenstein in Eisenoxydul (Fe.O), aus dem das Eisen aber schwierig zu gewinnen wäre. Das Eisenoxydul nimmt jedoch, wenn es im erhitzten Zustand mit Luft in Berührung ist, Sauerstoff auf und

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



verwandelt sich in Eisenoxyduloxyd ($FeO.Fe_2O_3$). Mit dem Rösten wird auch erreicht, daß der Schwefel, der die Eisenerze stets begleitet und die Qualität des erzeugten Eisens sehr beeinträchtigen kann, zum größeren Teil als Schwefeldioxyd in die Luft entweicht. Für jene Betriebe, welche Erze nur fördern, nicht aber selbst verhütten, bedeutet das Rösten von Spateisenstein, wenn es am Orte der Erzgewinnung erfolgt, eine Verringerung des Erzgewichtes um rund 30 v. H., was einer ebenso großen Ersparnis an Fracht gleichkommt. [1])

Nach derlei Vorbereitungen, aber auch — wenn sie nicht wirtschaftlich sind — ohne solche, werden die Eisenerze in abwechselnden Lagen mit Koks und Zuschlägen unter Zuhilfenahme von vorgewärmter Druckluft, dem „Gebläsewind", im „Hochofen" erhitzt und zum Niederschmelzen gebracht. Ein „Hochofen" ist ein sehr großer Schachtofen, bei dem die Feuergase in lotrechter Richtung wandern. In der Mitte ist der Hochofen erweitert, hauptsächlich aus Gründen der Feuerführung. Die Wände des Hochofens bestehen aus feuerfesten Steinen, die sich nach außen gegen ein Gerippe von eisernen Ringen und Säulen stützen und die nicht nur

---

[1]) Magneteisenstein, der sehr dicht ist, wird manchmal geröstet, um ihn in seinem Gefüge aufzulockern und dadurch leichter reduzierbar zu machen. Er nimmt dabei Sauerstoff aus der Luft auf und an Gewicht zu. — Zum Rösten der Erze benützt man am liebsten die aus dem Hochofen abgezogenen Gichtgase. Man verfrachtet daher manchmal die Erze im Naturzustande und röstet sie erst an Ort und Stelle ihrer Verhüttung.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



den hohen Temperaturen, sondern auch den chemischen Wirkungen der schmelzenden Massen widerstehen müssen.[1]) Im unteren Teil des Mauerwerks sind Kühlkästen aus Eisen eingebaut, die von kaltem Wasser durchflossen werden und das Mauerwerk abkühlen.

Da die Eisenerze von taubem Gestein, toniger, kieseliger oder kalkiger Art durchsetzt sind, das verhältnismäßig schwer schmelzbar ist und im Laufe der Zeit sich im Hochofen, den nur feurig-flüssige Massen verlassen, ansammeln und so den Betrieb stören könnte, werden den Erzen „Zuschläge" beigegeben, die mit dem tauben Gestein, der sog. „Gangart", leicht schmelzbare Kalktonsilikate, die „Schlacke" bilden. Diese bedeckt das Eisen und schützt es so vor der Oxydation. Bei Überschuß von Ton (kieselsaure Tonerde) und Quarz (Kieselsäure) in den Erzen besteht der Zuschlag aus Kalk. Dies ist die Regel. Ist das Erz jedoch von zuviel Kalk begleitet, wie dies meist bei Spateisenstein vorkommt, so werden Zuschläge aus Ton (Tonschiefer) gemacht. Kalk und Ton haben jedes für sich eine Schmelztemperatur, die (in Celsiusgraden gemessen) vielleicht doppelt so hoch ist, als man sie im Hochofen erreicht. Ein Gemisch von Kalk und Ton kann jedoch mit Leichtigkeit im Hochofen zum Schmelzen gebracht werden, wobei der Kalk sich mit der Kieselsäure der Tonerde zu einem Kalktonerdesilikat verbindet. Kalkreiche Schlacken, die schwer schmelzbar wären, werden durch Beigabe von Fluß-

[1]) Es gibt allerdings auch Hochöfen, die (in ihrem oberen Teil) ganz aus Eisen bestehen.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



spat ($CaFl_2$) leicht flüssig gemacht. Die Schlacke hat auch die Aufgabe, die Verunreinigungen des Eisens aufzunehmen, bezw. dieses von Verunreinigungen durch den Brennstoff (Koks) nach Möglichkeit zu schützen.

In den Hüttenwerken werden die Erze analysiert. Aus dem Ergebnis der chemischen Untersuchung wird berechnet, in welchem Verhältnis das Erz mit den Zuschlägen zu mischen ist, um eine genügende Menge Eisen und eine leicht schmelzbare Schlacke zu erhalten. Werden in einem Hochofen verschiedene Erze verhüttet, so trachtet sie der Hüttenmann so zu mischen, wie man sagt zu „gattieren", daß sie möglichst wenig Zuschläge brauchen. Das Gemisch aus Erz und Zuschlägen heißt der „Möller". Für die sich fortwährend in großer Zahl wiederholenden chemischen Analysen, die in der Eisenerzeugung nötig sind, hat sich ein eigener Zweig der Chemie, die Eisenhüttenchemie, ausgebildet, die durch ihre „Schnellmethoden" in außerordentlich kurzer Zeit mit völlig hinreichender Genauigkeit ihr Ziel erreicht.

Erze, die sich ohne „Zuschläge" verhütten lassen, nennt man „selbstgehende"; solche lassen sich mitunter durch Mischung (Gattierung) verschiedener Erzsorten erhalten. Bei der chemischen Berechnung des Möllers muß auch darauf Bedacht genommen werden, daß die Schlacke von solcher Beschaffenheit sei, daß sie den im Brennstoff (Koks) und Erzen vorhandenen Schwefel so binde, daß davon nur sehr geringe Mengen in das Eisen gelangen.

Durch den obersten Teil, die „Gicht", gelangen der Möller und Koks in den Hochofen, werden durch

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



die nach aufwärts strömenden Verbrennungsgase (Gichtgase) vorgewärmt, verlieren zunächst ihre Feuchtigkeit, dann das chemisch gebundene Wasser und sinken immer tiefer. Bei ungefähr 800° C gibt der (ungeröstete) Spateisenstein seine Kohlensäure ab. Im unteren Teile des Hochofens verbrennt der Kohlenstoff zunächst zu Kohlensäure, die aber beim Streichen über den glühenden Koks zu Kohlenoxyd reduziert wird, so daß die hocherhitzte Atmosphäre, in der die „Beschickungsbestandteile" — die Eisensauerstoffverbindungen, Gangart, Zuschläge und Koksasche — miteinander in Berührung kommen, eine „reduzierende", d. i. sauerstoffbedürftige ist. Die kohlenoxydreichen Feuergase entziehen den Erzen unter Wärmeverbrauch den Sauerstoff, so daß, wie man sagt, durch „Reduktion" das Eisen übrigbleibt. Es bildet sich schwammiges, ziemlich reines und daher schwer schmelzbares Eisen, das beim Tiefersinken im Hochofen einerseits Silizium, Mangan und Phosphor, die nach dem Eisen gleichfalls durch das Kohlenoxyd aus den Erzen reduziert werden, anderseits feinverteilten Kohlenstoff aufnimmt, der sich bei der Abkühlung der Feuergase durch die Wärmebindung bei der Reduktion der Erze nach der Formel $2CO = CO_2 + C$ bildet. Diese Fremdkörper, besonders der Kohlenstoff, erniedrigen den Schmelzpunkt des Eisens von etwa 1500° C auf 1150° C und führen zum Übergang des teigigen reinen Eisens in das leicht schmelzbare Roheisen, das 2·3 bis 6 v. H. (manchmal auch mehr) Kohlenstoff enthält.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



Um den Weg von der Gicht durch den ganzen Hochofen zurückzulegen, braucht die „Beschickung“ zehn bis vierundzwanzig Stunden („Durchsetzzeit“).

Vor einigen Jahrzehnten war die Gicht der Hochöfen oben offen und bot des Nachts durch die weitleuchtende Flamme, die ihr entströmte, einen schönen Anblick. Heute ist man nicht mehr so verschwenderisch, sondern fängt die kohlenoxydreichen Gichtgase ab, um die Luft, die in die Hochöfen hineingepreßt wird, (den „Gebläsewind“), vorzuwärmen und Gasmotoren anzutreiben. Die Gicht ist durch eine Glocke aus Blech geschlossen, die nur zeitweise gehoben wird, um den Möller und Koks in den Hochofen einfallen zu lassen. Der Verschluß ist meist doppeltwirkend, so daß auch beim „Gichten“, d. i. beim Nachfüllen des Hochofens keine Verbindung des Hochofeninnern mit der Außenluft hergestellt wird und eine Flammenbildung unterbleibt.

Der Gebläsewind wird in den sog. Winderhitzern vorgewärmt; es sind dies große, mit feuerfesten Steinen ausgemauerte und mit einem steinernen Gitterwerk ausgefüllte Blechgefäße (Cowper- und Whitwellsche Apparate). Man läßt in den Winderhitzern zunächst durch zwei Stunden aus dem Hochofen kommendes Gichtgas verbrennen (Heizperiode). Dadurch wird das Gitterwerk des Winderhitzers bis zur Weißglut (etwa 1000° C) erhitzt. Nach Abstellung des Gichtgases läßt man den „kalten“ Gebläsewind durch den Cowperschen oder Whitwellschen Apparat streichen, der sich hierbei auf 380° — 550° C erwärmt (Windperiode). Nach einer

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



Stunde hat sich das Gitterwerk auf Rotglut abgekühlt und wird neuerdings (durch zwei Stunden) durch Gichtgas geheizt. Gichtgas und Gebläsewind streichen nach dem Gegenstromprinzipe in entgegengesetzten Richtungen. Man hat daher (wenigstens in vielen Fällen) gleichzeitig drei Winderhitzer in Betrieb, zwei, die geheizt werden, und einen, der den heißen Gebläsewind liefert. Man baut aber zu einem Hochofen oft vier derartiger Wärmespeicher; einer davon bleibt für Ausbesserungen in Reserve, denn der Hochofen steht nie still, Tag und Nacht, jahrein jahraus, ist er in Betrieb, bis sehr große Ausbesserungen (meist wird er dann völlig neu aufgebaut) oder die wirtschaftliche Lage auf dem Eisenmarkt seine Stillegung, sein „Ausblasen" bedingen. Die Lebensdauer eines Hochofens (die „Ofenreise") beträgt 7 bis 11 Jahre, während welcher Zeit er in der Regel ununterbrochen in Betrieb ist.

Man hat im Hochofenbetrieb die Vorteile der Benützung hocherwärmten Gebläsewindes immer mehr schätzen gelernt. Ein Schornstein bewirkt den zur Strömung des Windes und der Feuergase in den Winderhitzern nötigen Druckunterschied. Der „Wind" wird durch Gebläsemaschinen geliefert, die manchmal durch Dampf, meist aber durch Gichtgasmotoren angetrieben werden.

Die Reduzierung der Eisenerze im Hochofen geschieht fast immer mittelst Koks.[1]) Nur selten eignet

[1]) In Amerika (Pennsylvanien) stehen Hochöfen, die durch Rohkohle (Anthrazit) betrieben werden.

In früheren Zeiten verwendete man zur Eisenerzeugung ausschließlich Holzkohle. Heute geschieht dies nur

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



sich dazu die rohe Steinkohle (Rohkohle). Oft blähen sich die glühenden Kohlenstücke in der Glühhitze auf und „baken“ dann aneinander, dem Gebläsewind den Weg versperrend. Meist ist auch die Kohle zu wenig hart, würde durch das Gewicht der über ihr liegenden „Beschickung“ zerdrückt werden und so in gleicher Weise den „Ofengang“ stören. Häufig wäre die Steinkohle, immer aber die Braunkohle und der Torf zu wasser- und aschereich, um die Erreichung hinlänglich hoher Temperaturen zu ermöglichen. Auch benützt man für den Hochofen Koks lieber als selbst eine genügend feste, nicht bakende Steinkohle, da ersterer weniger Schwefel enthält als letztere.[1]) Die Versuche aus Braunkohle oder Torf einen für Hochofenzwecke geeigneten Koks zu erzeugen, sind bisher gescheitert; er erwies sich als zu wenig fest. Es eignet sich nicht einmal jeder aus Steinkohlen hergestellter Koks für den Hochofen. Man verlangt von ihm eine Druck-

---

mehr zur Herstellung von Eisen, das besonders rein sein soll (Edelstahl, Hartguß) und an das besondere Ansprüche gestellt werden. Die Maschinenfabrik Ganz & Co. besitzt in Kroatien eigene Holzkohlenhochöfen, die das Ausgangsmaterial für die Erzeugung der Hartgußräder liefern. Meist sind die noch vorhandenen Holzkohlenhochöfen, die viel kleiner sind als die Kokseisenhochöfen, im Besitze von Edelstahlwerken.

[1]) Allerdings enthält Koks prozentuell (nicht absolut) mehr Schwefel als die Steinkohle, aus der er gewonnen wird; dies ist durch den Gewichtsverlust bedingt, den die Kohle beim Verkoken erleidet.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



festigkeit von 80 bis 100 kg auf den Geviertzentimeter, also eine solche, wie sie Ziegel mittlerer Güte aufweisen. Für den Hochofenbetrieb sollen die Kokssstücke möglichst groß sein.

Die Darstellung des Koks geschieht in eigenen Koksöfen, von denen eine ganze Reihe („Batterie"), etwa 30, nebeneinander gebaut werden. Das Verkoken findet bekanntlich bei vollständigem Luftabschluß statt (trockene Destillation). Aus den Koksofengasen gewinnt man Teer, Ammoniak und Benzol. Die von diesen Bestandteilen befreiten brennbaren Gase gehen zurück zu den Koksöfen und werden zu deren Erhitzung verwendet und dienen außerdem noch zum Antrieb von Gasmotoren oder zum Heizen von Dampfkesseln, unter Umständen auch zur Erhitzung der später zu besprechenden Martinöfen. Manchenorts hat man mit solchem Koksofengas wohl auch Ortschaften beleuchtet.

Zum Verkoken benützt man oft die Kohlenabfälle der Steinkohlen (Kohlenstaub und Kohlenklein), die noch in der Kohlenzeche zwecks Reinigung vom mineralischen Staub gewaschen werden. (Die Gesteinsteilchen bleiben als spezifisch schwerer liegen.) Im Eisenwerk kommt das feuchte Kohlenpulver in prismatische Formen, wird darin gestampft und durch eine eigene Maschine in einen gerade leerstehenden Koksofen geschoben, dessen Längsseitenwände mit Gas geheizt werden. Nach einer etwa vierzig Stunden dauernden Erhitzung wird der ganze Ofeninhalt durch eine eigene Vorrichtung ins Freie gedrückt und der glühende Koks

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



durch Wasserstrahlen abgelöscht. Von dem beim Verkoken gewonnenen Gas braucht man zwei Drittel bis drei Viertel, um die Koksöfen zu heizen.

Sobald sich im Hochofen eine entsprechende Menge Eisen (Roheisen) angesammelt hat, wird am Boden desselben ein für gewöhnlich mit Ton verschlossenes Loch geöffnet, wodurch sich der flüssige Inhalt des Hochofens entleert. Man nennt diesen Vorgang das „Abstechen" des Hochofens. Er erfolgt in Zeitabständen von einer bis etwa sechs Stunden. Das Roheisen fließt entweder in Formen aus Sand oder Eisen, in denen es zu Barren (Masseln) erstarrt, oder es kommt in große, mit feuerfesten Steinen ausgekleidete Gefäße, in denen es im noch flüssigen Zustande dem Stahlwerk zur Veredelung zu schmiedbarem Eisen oder Stahl zugeführt wird, oder endlich es wird sofort zur Herstellung gegossener Gegenstände verwendet (Hochofenguß).

Die Schlacke fließt — von der Zeit unmittelbar nach dem „Abstechen" abgesehen — aus einer Öffnung des Hochofens ständig ab.

Das im Hochofen gewonnene „Roheisen" enthält 4 bis 10 v. H. fremder Beimengungen, wovon meist 3 bis 4·5 v. H., mindestens aber 2·3 v. H. auf den Kohlenstoff entfallen. Der Rest besteht aus Silizium, Mangan, Phosphor, Schwefel, manchmal auch aus anderen Bestandteilen, wie Arsen und Kupfer. —

Die Eisendarstellung der Alten erfolgte durch Schmelzen von reinen Eisenerzen mit Holzkohle in niederen, oft nur 0·5 m hohen Herden (Rennverfahren).

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



Holz selbst war nicht verwendbar, da es zu viel flüchtige Bestandteile enthält und einen verhältnismäßig so großen Raum einnimmt, daß die für die Reduktion des Eisens aus den Erzen nötige hohe Temperatur nicht zu erreichen gewesen wäre. Durch Niederschmelzen der Erze mit Holzkohle erhielten die Alten einen Klumpen schwammiges, kohlenstoffarmes Eisen, das von Schlacke durchsetzt war, die durch Schmieden ausgepreßt werden mußte (Schweißeisen). Solche Öfen für das Rennverfahren baute man oft an Bergabhängen in unmittelbarer Nähe der Gewinnungsstätten für die Erze; des besseren Luftzuges wegen wohl auch an Bergspitzen. Im Laufe der Zeit fanden von Hand, dann von Wasser und schließlich von eigenen Maschinen angetriebene Gebläse Verwendung. In der Steiermark wurden Gebläse schon im 13. Jahrhundert durch Wasser angetrieben. Aus diesen sog. „Stücköfen“ entstanden durch stete Vergrößerung im Laufe der Zeit die „Hochöfen“. Die Vergrößerung der Öfen und die Vervollkommnung der Gebläse führten zu immer höheren Ofentemperaturen, bis man immer öfter an Stelle des teigigen Eisenklumpens das flüssige, kohlenstoffreiche „Roheisen“ erhielt und schließlich dieses verarbeiten lernte.

Der untere Teil des Gestelles des Hochofens (manchmal von der Höhe der Düsen, durch die der „Wind“ in den Hochofen strömt, an) muß von außen durch Berieselung gekühlt werden. Der Wasserverbrauch von Eisenwerken für die verschiedenen Zwecke ist sehr groß. Die Werksanlagen in Witkowitz z. B. verbrauchen ebenso-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



viel Wasser wie die Millionenstadt Wien. Zur Kühlung des erwärmten Wassers dienen eigene Kühltürme.

Durch die Einführung der Hochöfen, deren Leistungsfähigkeit immer mehr stieg, vollzog sich eine Konzentration der Eisenerzeugung auf einige Stellen. Da man 5000 kg Stammholz braucht, um 1000 kg Holzkohle zu erhalten, so war es bald schwer, die außerordentlich großen Mengen von Holzkohle zu beschaffen, die zur Eisengewinnung nötig waren, und es machte sich immer mehr die Notwendigkeit geltend, zur Erzeugung von Eisen einen mineralischen Brennstoff zu verwenden.

Die Schlacke, die der Hochofenbetrieb in großen Mengen erzeugt — deren Rauminhalt übertrifft das entsprechende Eisenvolumen im Mittel um das Dreifache[1]) — wird entweder in geeigneten Formen erkalten gelassen (Klotzschlacke), sodann gebrochen und unter Umständen als Schotter verwendet, oder man läßt sie im glühenden Zustand durch kaltes Wasser, durch Dampf oder durch einen Luftstrom abkühlen, wodurch sie zu Sand zerfällt (granuliert, Körnen der Schlacke). Dieses „Körnen“ erleichtert die Verladung und Abfuhr der Schlacke zur Halde. Allerdings nimmt die granulierte Schlacke den doppelten bis dreifachen Raum der nicht granulierten ein und das Granulieren durch Wasser erfordert eine große, oft nicht zu beschaffende Wassermenge. Doch kann die granulierte

---

[1]) Die Schlacke nimmt den zweifünftel- bis fünffachen Raum des entsprechenden Eisens ein.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



Schlacke (der Schlackensand), wenn sie keine schädlichen Bestandteile enthält, mit Vorteil zur Herstellung von Eisenportlandzement, Hochofenzement, Schlackenzement, von Schlackenziegeln oder auch als Bausand verwendet werden. Viele Jahre bildeten die täglich aus dem Hochofen strömenden großen Schlackenmengen eine unangenehme Begleiterscheinung des Hochofenbetriebes. Man mußte große Flächen als Schlackenhalden anlegen, wo sich die Massen auftürmten. Die Schlackenhalde der rheinischen Gutehoffnungshütte in Neuoberhausen ist größer als die Insel Helgoland. Heute hat man, wie schon oben erwähnt, gelernt, die Schlacken, sofern sie entsprechend kalkreich sind und auch sonst keine schädlichen Bestandteile enthalten, zu hydraulischen Bindemitteln, die ja auch der Hauptsache nach Kalktonsilikate darstellen, zu verarbeiten. In manchen Fällen ist jedoch auch heute noch die Schlacke ein lästiges Nebenerzeugnis der Eisenherstellung. —

Das Roheisen ist verhältnismäßig leicht schmelzbar (bei 1150 bis 1250° C), aber nicht schmiedbar, d. h. es läßt sich weder im kalten, noch im glühenden Zustand durch den Schmiedehammer formen. Es schmilzt ohne vorhergehende deutliche Erweichung, wodurch es sich vom Verhalten kohlenstoffarmen Eisens unterscheidet.

Es gibt zwei Hauptarten von Roheisen: das „weiße“ und das „graue“. Im ersteren ist der ganze Kohlenstoff chemisch gebunden, im letzteren nur ein Teil. Im grauen Gußeisen ist Graphit vorhanden, welcher der Bruchfläche die graue Farbe erteilt. Für Guß-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



zwecke wird das graue Roheisen verwendet. Eine Ausnahme macht der „Temperguß“, zu dem weißes Roheisen genommen wird, dem nachträglich durch Glühen in oxydierenden Stoffen der Kohlenstoff entzogen wird, wodurch die Stücke schmiedbar werden (Glühfrischen). Es ist meist erforderlich, das aus dem Hochofen kommende graue Eisen vor der Verwendung zu Gußgegenständen neuerlich einzuschmelzen, um durch geeignete Mischung (Gattierung) oder durch Verwendung geeigneter Zuschläge die gewünschte chemische Zusammensetzung herbeizuführen. Es handelt sich in vielen Fällen um die entsprechende Regelung des Siliziumgehaltes. Mit der vielseitigeren und ausgedehnteren Verwendung des Gußeisens stiegen die Anforderungen an die Güte des Materials. Diesen Ansprüchen konnten die Hochöfen nicht überall genügen, wenigstens von der Zeit ab nicht mehr, als sie mit Koks betrieben wurden. So trennten sich manchenorts die Eisengießereien von den Hochöfen.[1])

Geht der Hochofen auf „graues“ Eisen, so wird das flüssige Roheisen (wenn es nicht sofort zum Guß verwendet wird) beim Abstich in seichte Gräben geleitet, die an der Hüttensohle angeordnet sind, wo es erstarrt und dann zu Masseln zerschlagen wird. Geht der Hochofen auf „weißes“ Eisen, so kommt das

[1]) In Königshof (Böhmen), in Wasseralfingen (Württemberg) und anderen Stellen stehen auch heute noch bedeutende Eisengießereien in unmittelbarer Verbindung mit den Hochöfen.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



Roheisen in Pfannenwagen und wird noch flüssig zur weiteren Reinigung dem „Stahlwerk“, das dem Hochofen angeschlossen wird, zugeführt.

Das Umschmelzen des Roheisens zu Gußeisen erfolgt bei uns meist in einem zylindrischen Schachtofen, dem sog. „Kupolofen“. Als Heizstoff wird Koks benützt. Das Anwärmen des Ofens erfolgt durch ein Holzfeuer. Hierauf wird der Ofen allmählich bis auf etwa ein Drittel seiner Höhe mit Koks gefüllt. Dann wird das Gebläse in Tätigkeit gesetzt und Roheisen sowie Koks in abwechselnden Lagen eingebracht.

Für Gußeisen besonderer Zwecke erfolgt das Umschmelzen auch in „Flammöfen“, das sind solche mit horizontaler Feuerführung, wobei Brennstoff und die Schmelze voneinander getrennt sind und nur die Flamme über das Metallbad streicht. In Amerika sind solche Flammöfen fast ausschließlich in Gebrauch. Die Feuergase der zum Umschmelzen des Gußeisens benützten Öfen sollen weder reduzierend noch oxydierend, sondern neutral sein. Dies ist der Fall, wenn sie weder Sauerstoff noch Kohlenoxyd, aber möglichst viel Kohlensäure enthalten. Dieser ideale Zustand ist aber nicht zu erreichen; die Abgase der Kupolöfen enthalten vielfach nicht unbedeutende Mengen von Kohlenoxyd, das man wärmetechnisch zu verwerten sucht. Für den Guß sehr kleiner Mengen oder für ganz besondere Zwecke findet das Umschmelzen auch in Tiegeln statt.

Die direkte Gewinnung von Eisen aus den Erzen im teigigen, schmiedbaren Zustand, das sog. „Renn-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



verfahren“ ist heute bei uns nicht mehr im Gebrauch, da seine Herstellung nur im kleinen und unter Benützung von Holzkohle erfolgen kann. Man gewinnt heute fast ausschließlich das schmiedbare, kohlenstoffarme Eisen, indem man dem kohlenstoffreichen Roheisen durch einen Oxydationsvorgang, den man das „Frischen“ nennt, einen Teil des Kohlenstoffgehaltes entzieht.

Die älteste Frischmethode ist das sog. „Herdfrischen“. Es besteht im wiederholten Niederschmelzen von Roheisen in einem Holzkohlenfeuer. Das abschmelzende Metall tropft hiebei durch einen „oxydierenden“ Luftstrom, d. i. einen solchen, der freien Sauerstoff, also Luft, im Überschuß enthält. Die Nebenbestandteile des Roheisens, insbesondere der Kohlenstoff, verbinden sich in der oxydierenden Flamme des Frischherdes mit dem Sauerstoff der Feuergase und entweichen. Das Eisen wird immer kohlenstoffärmer und auch reiner. In unserer Monarchie finden sich in Stahlwerken noch solche Frischfeuer, in denen Holzkohlenroheisen entkohlt wird. Es dient als Ausgangsmaterial für Stahlsorten, an die ganz besondere Anforderungen gestellt werden, die daher besonders rein und edel sein müssen. Solche Stahlwerke sind manchmal entlegen, sie folgen wohl der Holzkohle.

Die immer schwerer werdende Beschaffung genügender Mengen von Holzkohle veranlaßte Versuche durchzuführen, nicht nur die Herstellung des Roheisens, sondern auch dessen Entkohlung mit Stein-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



oder Braunkohle durchzuführen. Wegen der dem Eisen schädlichen Beimengungen der mineralischen Brennstoffe erwies es sich als nötig, sie mit dem Roheisen nicht in unmittelbare Berührung kommen zu lassen. Man griff daher zur Rostfeuerung und trennte den Herd, in dem das Roheisen geschmolzen wurde, von dem Raum, in dem die Verbrennung der Kohle erfolgte, so daß der Schwefel und die Asche des Brennstoffes das Eisen nicht verunreinigen kann. Nur die oxydierende Flamme streicht über die Oberfläche des Metallbades (Flammofen, Flammofenfrischen). Es bildet sich Eisenoxyd, das Sauerstoff an den Kohlenstoff abgibt, wodurch dieser in Form von Kohlenoxyd entweicht, wobei sich das Eisen rückreduziert. Um die Entkohlung zu beschleunigen, wird der Schmelze Eisenoxyd in Form von Hammerschlag beigemengt. Eine direkte Verbrennung des Kohlenstoffs findet also nicht statt; dazu sind die Temperaturen nicht hoch genug. Damit alle Teile des Roheisens gleichmäßig entkohlt werden, muß die Schmelze umgerührt, wie man sagt „gepuddelt“ werden (Puddelöfen).

Die kohlenstoffarmen Eisenteile (Ferritkristalle) mit dem höheren Schmelzpunkt kristallisieren aus dem Bade aus. Diese Eisenkristalle schweißen dann aneinander und das so gewonnene Eisen heißt „Schweißeisen“. Dieses Schweißeisen wird noch im Ofen zu größeren Ballen (Luppen) zusammengearbeitet, kommt dann unter den Hammer, wo es durch Hämmern von der sehr reichlich beigemengten Schlacke befreit wird.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



1855 kam Bessemer auf den Gedanken, die entkohlende Wirkung des Sauerstoffes dadurch zur Geltung zu bringen, daß Luft durch flüssiges Roheisen durchgeblasen wird. Bessemer selbst gelang es nicht, seinen Gedanken vollständig in die Tat umzusetzen. Erst den Bemühungen schwedischer und österreichischer Fachmänner glückte es, das von Bessemer angegebene Verfahren in der Praxis auszunützen. Wir müssen hier besonders Tunners gedenken, der in Durach (Obersteiermark) das Windfrischen einführte.

In kippbaren, birnenförmigen, mit feuerfesten, quarzigen (sauren) Steinen ausgekleideten Gefäßen (Bessemerbirnen, Konverter), deren Boden für das Durchpressen von Luft (des „Gebläsewindes") vielfach durchbrochen ist, wird im liegenden Zustand flüssiges Roheisen eingefüllt, das bei dieser Lage des Gefässes den Boden nicht berührt. Nach Einlassung des Gebläsewindes wird die Birne langsam aufgerichtet. Die Luft durchdringt das Eisenbad und verbrennt die Nebenbestandteile des Roheisens, zunächst das Silizium, dann das Mangan und schließlich den Kohlenstoff. Die gasförmigen Verbrennungsprodukte entweichen in einer viele Meter hohen Flamme. Bei diesem Oxydationsvorgange wird so viel Wärme frei, daß das Eisenbad bis zur völllgen Entkohlung flüssig bleibt, so daß man die zu anderen Frischverfahren nötigen Brennstoffe scheinbar erspart. Es ist besonders das Silizium, das diese große Wärmeentwicklung bedingt, denn beim Verbrennen von 1 v. H. Silizium steigt die Temperatur

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



der Eisenschmelze um 190° C, während 1 v. H. Kohlenstoff beim Verbrennen kaum den 30. Teil dieser Wärmemenge entwickelt. Der zu Kohlenoxyd oder Kohlendioxyd verbrannte Kohlenstoff entweicht im gasförmigen Zustande aus der Schmelze, ohne seine Wärme abzugeben, während das Silizium tropfbar flüssig bleibt und das Eisenbad beim Verbrennen erwärmt. Die Ersparnis an Brennstoff ist jedoch nur eine scheinbare, weil sich zum Bessemerverfahren nur sog. „übergares" Roheisen eignet, d. i. solches, das verhältnismäßig sehr viel Silizium und Kohlenstoff enthält. Ein solches Roheisen ist aber nur bei sehr heißem Hochofengang zu erhalten, erfordert also im Hochofen einen größeren Verbrauch an Brennmaterial und ist dementsprechend auch viel teurer als gewöhnliches Roheisen. Die Arbeit des Puddelns entfällt. Bezüglich der Güte und Gleichmäßigkeit des erzeugten Eisens ist man beim „Windfrischen" von der Geschicklichkeit des Arbeiters weniger abhängig als beim Puddeln.

Das „Blasen" einer Schmelzung dauert je nach der chemischen Zusammensetzung des Roheisens 10 bis 20 Minuten. Nach Beendigung desselben wird die Birne wieder in eine Lage gebracht, bei der der Boden vom Eisen nicht bedeckt wird, und der Wind abgestellt. Nachdem man sich noch durch Beobachtung der Flamme und Entnahme einer Probe („Schöpfprobe") von der Erreichung des gewünschten Entkohlungsgrades überzeugt hat, setzt man dem Bade eine dem Härtegrade des zu erzeugenden Flußeisens oder Stahles ent-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



sprechende Menge kohlenstoffreichen Spiegel- oder Manganeisens entweder in kalter oder zweckmäßiger in flüssiger oder glühender Form zu.

Spiegeleisen und Eisenmangan sind Legierungen von Eisen, Mangan und Kohlenstoff; das erstere hat etwa 5 bis 25 v. H., das letztere 30 bis 85 v. H. Mangan, nebst einigen Prozenten Kohlenstoff. Der Rest ist Eisen.

Der Zusatz von Spiegeleisen und Eisenmangan geschieht aus zwei Gründen. Durch die stets erneute Berührung des Sauerstoffes der Luft beim Blasen der Schmelze nimmt das Eisen Sauerstoff in Form von Eisenoxydul auf. Schon geringe Mengen Eisenoxydul machen das Eisen „rotbrüchig", d. h. spröde in der Glühhitze, so daß es bei Formänderungsarbeiten im warmen Zustande, wie Schmieden, Pressen, Walzen, rissig wird. Es muß daher aus dem Eisen entfernt werden. Ein Teil des Mangans dient dazu, die Eigenschaften des Eisens zu verbessern, der Rest verbindet sich mit dem Eisenoxydul, das in die Schlacke geht. In dieser Art „desoxydiert" sich die Schmelze, die hierbei den in den Eisenmanganverbindungen enthaltenen Kohlenstoff aufnimmt und sich dadurch „rückkohlt". Die Art und Menge des Zuschlages wird so bemessen, daß diese „Rückkohlung" das gewünschte Maß erreicht. Man könnte zwar durch rechtzeitiges Abbrechen des Blasens das Rückkohlen umgehen. Dies ist aber schwer zu treffen. Will man sehr weiches Eisen haben, so benützt man zur Desoxydation geringe

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



Mengen von sehr kohlenstoffarmem Eisenmangan mit einem Gehalt von 80 v. H. Mangan, so daß die Rückkohlung kaum merkbar ist.

Um die Gleichmäßigkeit der Mischung noch zu fördern, kann man die Birne nach dem Zusatz der Eisenmanganverbindung wieder aufrichten und nochmals einige Sekunden weiterblasen, wie dies manchmal geschieht. Zu starkes Nachblasen wäre schädlich, da sich neuerdings Eisenoxydul bilden würde. Nach diesem „Nachblasen“ (wenn es überhaupt stattfindet) wird das Eisen in eine bereitstehende, mit feuerfestem Material ausgekleidete Pfanne gegossen. Aus dieser findet die Verteilung des Flußeisens oder Stahles in Formen (Kokillen) statt, die auf einer eisernen Platte aufgestellt sind und in denen das Eisen erstarrt. Die erstarrten Stücke nennt man „Ingots“ (Gußblöcke).

Der für den Betrieb einer Bessemerbirne erforderliche Luftdruck wird durch eine eigene Maschine (Kolbenmaschine) erzeugt, die durch eine Dampf- oder Gasmaschine angetrieben wird.

Man erhält kohlenstoffarmes Eisen im flüssigen Zustand (Flußeisen), das fast keine Schlackeneinschlüsse enthält, wie das im teigigen Zustand durch das Herd- oder Flammofenfrischen gewonnene „Schweißeisen“. Eine Bessemerbirne leistet in 20 Minuten dasselbe wie ein Puddelofen in mehr als einem ganzen Tage.

Die Betriebe, welche das Roheisen in schmiedbares Material umwandeln, nennt man „Stahlwerke“, auch wenn sie nicht eigentlichen Stahl, sondern das

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



weichere „Flußeisen“ erzeugen. Sie sind meist dem Hochofen unmittelbar angeschlossen. Da verschiedene Hochöfen trotz gleicher Beschickung Roheisen erzeugen, das in der chemischen Beschaffenheit Verschiedenheiten aufweist, so benützt man sehr große, mit feuerfesten Steinen ausgefütterte birnenförmige oder zylindrische Gefäße, die „Roheisenmischer“, die sämtliche „Abstiche“ der einzelnen Hochöfen aufnehmen, innig vermischen und dann erst das Roheisen den Bessemerbirnen wieder abgeben. Für die Vereinfachung des ganzen Betriebes ist es von Vorteil, stets gleiches Ausgangsmaterial zu verarbeiten. Auch macht der Roheisenmischer in den Abstich- und Entnahmezeiten die Hochöfen von den Stahlwerken unabhängig. Man kann die Hochöfen abstechen, wann man will, und das Roheisen zum Frischen entnehmen, ohne auf die Abstichzeiten Rücksicht nehmen zu müssen. Baut man den Roheisenmischer als Flammofen, so erfolgt in den oxydierenden Feuergasen von der Oberfläche aus eine teilweise Frischung und das eigentliche Frischen erfordert kürzere Zeit (Talbotverfahren, Witkowitz). Durch das ruhige Stehen des Roheisens im Mischer scheidet sich auch ein Teil des Schwefels (oft zu 50 v. H.) aus dem Eisen ab. Dies geschieht unter Abgabe von Wärme, die dazu beiträgt, das Erstarren („Einfrieren“) der Schmelze zu verhindern. — —

Sehr bald stellte sich heraus, daß das Verfahren Bessemers bei manchen Roheisensorten, und zwar bei den phosphorreichen versagte. Die Erze (und Zuschläge),

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



die in den Hochofen kommen, enthalten häufig Phosphor in Form von phosphorsaurem Kalk. Der ganze Phosphor geht in das Roheisen über. Gelingt es nicht, durch das Windfrischverfahren den Phosphor bis auf sehr geringe Reste zu entfernen, so bekommt man „kaltbrüchiges“ Eisen, d. i. solches, das bei „kalter“ Bearbeitung ebenso aufreißt wie durch Sauerstoff oder Schwefel verdorbenes bei Rotwärme. Zwar verbrennt beim Windfrischen der Phosphor ebenso wie der Kohlenstoff und das Oxydationsprodukt, die Phosphorsäure, gelangt in die Schlacke. Durch den Kohlenstoff des Eisens wird der Phosphor jedoch wieder rückreduziert und gelangt so in die Eisenschmelze zurück, wenn nicht besondere Vorsorge dafür getroffen wird, daß die Phosphorsäure chemisch gebunden wird, bevor sie das Eisen neuerlich verderben kann. Zunächst blieb also das Bessemerverfahren auf phosphorarmes Roheisen beschränkt und so war der Phosphor der Erze lange Zeit ein gefürchteter Feind des Hüttenmannes. Bessemer führte schwedisches Roheisen ein, das phosphorfrei ist. Erst 1878 gelang es, das Bessemerverfahren dahin abzuändern, daß auch phosphorhaltiges Roheisen in brauchbares kohlenstoffarmes Eisen umgewandelt werden konnte, und heute sucht der Hüttenmann mitunter den Phosphorgehalt mit allen Mitteln zu steigern, weil er für ihn, wie aus dem Folgenden hervorgeht, als Heizmaterial ein wertvoller Bestandteil des Roheisens geworden ist, wenn er es in Flußeisen oder Stahl verwandeln will.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



1878 fanden die Engländer Thomas und Gilchrist, daß bei Ersatz der quarzhältigen, kieselsäurereichen (daher sauren) Wandauskleidung des Konverters durch eine basische (aus gebranntem Dolomit) und durch geeignete Zuschläge von gebranntem Kalk zum Eisenbad sich die bei der Oxydation des Phosphors bildende Phosphorsäure binden läßt. Wenn der Kohlenstoff des Eisens durch das Windfrischen entfernt ist, bildet die Phosphorsäure mit dem gebrannten Kalk eine Schlacke (Thomasschlacke, Phosphorschlacke), die als Düngemittel sehr geschätzt ist (Entphosphorungsperiode). Das Blasen des Roheisens geschieht beim „Thomasprozeß", wie man diese Abart des Windfrischens nennt, ganz ähnlich wie beim Bessemerverfahren. Wie dort stellt man nach dem Blasen die Beschaffenheit des erzeugten Flußeisens durch eine „Schöpfprobe" fest, indem man bei liegender Stellung der Birne etwas Flußeisen entnimmt und in eine eiserne Form gießt, wo es erstarrt. Die Probe wird sofort ausgeschmiedet, in kaltem Wasser abgeschreckt und abgebrochen. Aus dem Aussehen der Bruchfläche ist der Bläser in der Lage, den Phosphorgehalt auf den hundertsten Teil eines Prozentes abzuschätzen und darnach zu bestimmen, ob das Blasen genügend lange gedauert hat. Ist die Probe befriedigend ausgefallen, so wird aus der Thomasbirne die Schlacke abgegossen und das Flußeisenbad durch Spiegeleisen oder Eisenmangan desoxydiert und rückgekohlt. Dann ist die Schmelze zum Abgießen bereit.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



Beim Windfrischen phosphorhaltigen Roheisens oxydiert der Phosphor erst nach der vollständigen Entfernung des Kohlenstoffes. Die Rückkohlung ist daher beim „Thomasverfahren“ unvermeidlich.

Wie beim sauren Verfahren das Silizium, liefert beim basischen der Phosphor den Hauptanteil an Wärme zur Flüssigerhaltung des Eisenbades während des Frischens. 1 v. H. Phosphor vermag bei der Oxydation die Temperatur des Eisenbades um 120° C zu erhöhen. Etwas Silizium muß das Roheisen allerdings auch beim Thomasverfahren enthalten, sonst kommt das „Windfrischen“ nicht in den Gang und die Schmelze „friert ein“.

Für Länder, deren Erze phosphorhaltig sind, wie z. B. für Deutschland, wurde das Thomasverfahren von großem Segen. Erst diese Erfindung setzte die deutsche Eisenindustrie in den Stand, eine ausgedehnte Anwendung vom Windfrischen zu machen.

Das durch das „Bessemer“- und „Thomasverfahren“ erzeugte schmiedbare Eisen heißt auch Birneneisen. Es ist wohlfeiler, aber von geringerer Qualität als jenes schmiedbare Eisen, dessen Herstellung im folgenden beschrieben werden soll.

Das in Österreich heute wohl vorherrschende Verfahren der Verwandlung von Roheisen in schmiedbares Material ist nämlich nicht das „Wind-“, sondern das „Flammofenfrischen“, das darin besteht, daß eine Roheisenschmelze durch eine darüberstreichende, oxydierende Flamme entkohlt wird und daß hierbei das

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



Eisenbad bis zur völligen Entkohlung flüssig bleibt. Durch Zugabe von Eisenoxyd (in Form von Erzen oder Hammerschlag) wird die Entkohlung beschleunigt.

1865 versuchten die Brüder Emil und Pierre Martin in Frankreich durch Zusammenschmelzen von Roheisen mit aus der Industrie als Altmaterial (Altschrott) zurückströmendem schmiedbaren Eisen ein Eisen mittleren Kohlenstoffgehaltes, d. i. einen Stahl zu erzeugen.

Wie sehr heutzutage das Alteisen (Altschrott) für die Erzeugung des Eisens in Betracht kommt, geht daraus hervor, daß es (allerdings in Verbindung mit „Neuschrott", das sind jene Abfälle, die sich bei der Verarbeitung des Roheisens bis zum Fertigfabrikat ergeben) mit 40 v. H. an der Erzeugung des schmiedbaren Eisens teilnimmt; also nur 60 v. H. des schmiedbaren Eisens stammt direkt aus dem Roheisen (Erzen).[1])

Die Durchführung des Gedankens der Brüder Martin wurde möglich durch die Benützung der von Friedrich und Wilhelm Siemens erfundenen „Regenerativfeuerung", die gestattet, Ofentemperaturen zu erreichen, die um einige hundert Grad höher sind als die im Puddelofen erzielten, so daß auch kohlenstoffarmes Eisen geschmolzen werden konnte. Man führte demnach einerseits die Gasfeuerung ein und verwendete andererseits die Hitze der Abgase, um Gas und Luft vorzuwärmen. So gelang es, den Gedanken der Brüder Martin zu verwirklichen.

---

[1]) In Donawitz 75 v. H.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



Durch unvollständige Verbrennung von Stein-, Braunkohle oder Torf erzeugten die Brüder Siemens in sog. „Generatoren“ — es sind dies schachtartige Öfen — ein brennbares Gas. In hoher Schichte wird das Heizmaterial unvollständig verbrannt. Durch die Hitze des Ofens werden aus dem Brennstoff zunächst die flüchtigen Bestandteile ausgetrieben, sodann der übrigbleibende Kohlenstoff des Brennmaterials zu Kohlendioxyd verbrannt, das sich aber beim Streichen über die glühende Kohle wieder zu Kohlenoxyd reduziert:

$$CO_2 + C = 2CO.$$

Oft mengt man der dem Generator zuströmenden Luft Wasserdampf bei, wodurch das Gas auch brennbaren Wasserstoff erhält, der sich bei Temperaturen über $1000^0$ C nach der Formel

$$C + H_2O = CO + H_2,$$

bei Temperaturen unter $1000^0$ C nach der Formel

$$C + 2H_2O = CO_2 + 2H_2$$

bildet.

Solches Generatorgas verwendeten die Brüder Siemens bei ihrem Heizverfahren. Gegenüber der Feuerung mit festem Brennstoff hat die Gasfeuerung den großen Vorteil, daß sich bei ihr die Luftzufuhr viel besser regeln läßt. Oxydierend soll ja die Flamme bei der Entkohlung des Roheisens sein; ein zu großer Luftüberschuß, wie er bei der Verwendung von festem Brennstoff sich kaum vermeiden läßt, drückt aber die Ofentemperatur herab.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



Eine weitere Temperatursteigerung der Flamme erreichten die Brüder Siemens dadurch, daß sie Gas und Luft in Wärmespeichern, den sog. „Regeneratoren", vorwärmten, die durch die Abgase bis zur Weißglut erwärmt wurden. Diese Wärmespeicher werden heute ähnlich gebaut wie die Winderhitzer der Hochöfen, die zur Vorwärmung des Gebläsewindes dienen. Durch ein steinartiges Gitterwerk strömen zunächst die den „Martinofen" verlassenden Feuergase und machen es weißglühend; sodann werden die Feuergase in ein anderes System eines solchen Regenerators geleitet (umgeschaltet), durch das weißglühende Gitterwerk hingegen das vorzuwärmende Gas, bezw. die Luft (und zwar voneinander getrennt) geführt. Vor dem Herd des Flammofens vereinigen sich im hocherhitzten Zustande Gas und Luft und verbrennen.

Erst die Verwendung dieser Feuerung, der sog. „Regenerativfeuerung" gestattete die Herstellung flüssigen, schmiedbaren Eisens in einem Ofen. Bisher erreichte man so hohe Temperaturen nur im Konverter. Man nennt die von den Brüdern Martin angegebene Art der Stahlerzeugung das Siemens-Martin-Verfahren; es erhielt im Laufe der Zeit eine selbständige, das Windfrischen sogar überragende Bedeutung für die Umwandlung des Roheisens in Flußeisen und Stahl (Flammofenfrischen). Man kam nämlich bald darauf, daß man in solchen Martinöfen Roheisen (allein oder mit Schrott gemischt) schmelzen kann, das sich dann durch die Wirkung der miteingesetzten Metalloxyde

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



(Eisenerz und Hammerschlag) und der über das Metallbad streichenden oxydierenden Flamme entkohlt. Die mit dem Schrott in den Martinofen „eingesetzten" Erze müssen sehr rein sein (steirische oder schwedische). Das Futter der Martinöfen war ursprünglich wie bei der Bessemerbirne sauer, d. h. quarzreich. Die Erfindung von Thomas und Gilchrist kam auch dem Martinverfahren zugute, da man nach Ersatz des sauren Futters durch ein basisches auch phosphorreiches Roheisen verarbeiten lernte.

Ist der Frischvorgang im Martinofen genügend weit vorgeschritten, was durch Schmiede- und Bruchproben festgestellt wird — die chemische Analyse würde, selbst nach einer Schnellmethode, zu lange dauern[1]) — so folgt, wie beim Bessemer- und Thomasverfahren, der Zusatz von Eisenmangan oder Spiegeleisen zur Desoxydation, bezw. zu einer mehr oder minder starken Rückkohlung. Oft wird auch nur bis zum gewünschten Kohlenstoffgehalt entkohlt, so daß die Rückkohlung entfällt. Man kann im Martinofen ebensowohl weichstes Flußeisen wie auch harten Stahl erzeugen. Wenn der Prozeß beendet ist, wird ein Stichloch geöffnet und der Ofeninhalt in eine in einem

---

[1]) In Witkowitz wird die Zusammensetzung einer Schmelzung (Charge) auch durch die Analyse kontrolliert, so daß vor Abstich derselben schon das Mengenverhältnis der einzelnen Bestandteile bekannt ist und eine fallweise nötige Veränderung noch möglich ist — ein Vorteil des Talbotschen Verfahrens.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



fahrbaren Gießwagen oder Kran hängende Gießpfanne, die mit einer Stopfenhebevorrichtung versehen ist, abgelassen. Nach jedem Abstich wird der Herd sorgfältig ausgebessert („Bodenmachen"). Die entstandenen Vertiefungen werden von der Schlacke gereinigt und mit neuer Herdmasse wieder ausgefüllt. Erst nachher kann der Ofen von neuem beschickt werden.

Siemens-Martin-Stahl ist in der Qualität bereits wesentlich besser als „Birnenstahl" und kann schon für untergeordnete Werkzeuge sowie für höher beanspruchte Konstruktionsteile verwendet werden.

In Witkowitz wurde vor kurzer Zeit noch teils das Wind-, teils das Flammofenfrischen verwendet (Duplex- oder „Witkowitzer"-Verfahren). Das Roheisen wird in der sauren Bessemerbirne „vorgefrischt" und hierauf im Martinofen fertig gemacht. Diese Art der Stahlerzeugung hat gegenüber dem reinen Windfrischen den Vorteil, daß sich die chemische Zusammensetzung des Stahles leichter beherrschen läßt. Gegenüber dem reinen Martinprozeß ist das Verfahren schneller. Auch macht siliziumreiches Roheisen im Martinofen Schwierigkeiten: es schäumt stark auf und greift sogar das Ofengewölbe stark an. Man frischt daher derartiges Roheisen lieber in der Bessemerbirne vor. Dieses kombinierte Verfahren ist jedoch sehr teuer; es wurde nur in Witkowitz und auch da nur wegen der besonderen Erz- und Roheisenverhältnisse angewendet. Heute benützt man in Witkowitz zum Vorfrischen den Roheisenmischer, der wie ein Martinofen

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



gebaut ist. In Kladno wird zum Vorfrischen gleichfalls ein Martinofen benützt und hierauf das Material in einer Thomasbirne fertiggeblasen. Für Zugförderungsmaterial ist in Österreich die Verwendung des Siemens-Martin-Verfahrens vorgeschrieben.

Nach den hier angegebenen Verfahren (Wind- und Flammofenfrischen) wird schmiedbares Eisen aus dem Roheisen im flüssigen Zustande gewonnen, in eiserne Formen (Kokillen) gegossen, wo es zu großen Blöcken (Ingots) erstarrt.

Die Herstellung der Edelstahle erfolgt aus dem in der Birne oder im Martinofen gewonnenen Eisen durch nochmaliges Umschmelzen in Tiegeln oder im Elektrostahlofen. Die Tiegelgußstahlerzeugung begann schon 1740, während die Elektrostahlerzeugung erst seit 1900 einen größeren Umfang angenommen hat. Die hohe Qualität des Tiegelgußstahles beruht auf der Reinheit der verwendeten Rohstoffe, der Kenntnis ihrer Zusammensetzung und darauf, daß während des Schmelzens die Heizgase mit dem Stahl nicht in Berührung kommen und ihn daher auch nicht verunreinigen können. Dieselben Vorteile hat die Elektrostahlerzeugung. Die elektrische Heizung ermöglicht jedoch die Erlangung noch höherer Temperaturen als die Siemens-Feuerung — welch letztere beim Tiegelverfahren Verwendung findet — wodurch alle chemischen Prozesse rascher und vollkommener verlaufen. Bei allen Elektrostahlöfen wird durch ein- oder mehrmalige Bildung von Kalkschlacke der Stahl vom Phosphor gereinigt.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



Um dem Metall die dem Gebrauchsgegenstand entsprechende Form zu geben, muß es weiter bearbeitet werden. Dies geschieht durch Schmieden, Pressen oder Walzen. Hierbei veredeln sich die Eigenschaften des Materials. Festigkeit und Dehnung nehmen zu. Gasblasen werden zusammengepreßt und deren Wandflächen aneinandergeschweißt. Bei den aus dem Puddelofen kommenden Metallblöcken (Luppen) erfolgt durch die Bearbeitung ein Auspressen vorhandener Schlackennester.

In früheren Zeiten benützte man Handhämmer oder durch Wasserkraft angetriebene Hämmer (Stielhämmer oder Schwanzhämmer), um ein Eisenstück in der Glühhitze durchzuschmieden und zu formen. Dies geschieht heute nur mehr selten. Mit der Größe der Schmiedestücke stiegen die Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der das Schmieden ermöglichenden Vorrichtungen immer mehr, so daß die Hand- und Stielhämmer in vielen Fällen nicht mehr genügten. Man schritt zu schwereren Konstruktionen und baute 1842 den ersten Dampfhammer. Bei den außerordentlich schweren Schmiedestücken, die der moderne Schiffs-, Geschütz- und Maschinenbau verlangt, sind aber die großen, bei der Arbeit ihre Umgebung weithin erschütternden Dampfhämmer nicht mehr zweckmäßig. Moderne Werke arbeiten daher heute lieber mit solchen Maschinen, die das Arbeitsstück unter ruhigem Druck in die richtige Form bringen. Diese „Preßwerke“ nützen die aufgewendete Energie günstiger aus als die

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



Dampfhämmer. Die Güte des zu bearbeitenden Materials erfährt auch im Innern und nicht nur an der Oberfläche (wie beim Schmieden) eine Verbesserung, was bei zu leichten Dampfhämmern nicht gewährleistet ist.

Einen großen Fortschritt in der Massenerzeugung eiserner Bedarfsgegenstände bedeutet die Einführung von Walzwerken. Erst durch das Walzen wurde es möglich, Träger, Schienen und Bleche in der erforderlichen Anzahl herzustellen. Walzwerke sind Vorrichtungen, die in der Regel aus zwei Umdrehungskörpern bestehen, die parallel zueinander gelagert sind und zwischen sich einen Raum freilassen, in dem die Formgebung des Werkstückes dadurch erfolgt, daß die walzenförmigen Umdrehungskörper in entgegengesetzter Richtung sich drehen, das herangeführte glühende Werkstück erfassen, durch Reibung in den von den Walzen freigelassenen Zwischenraum hineinpressen, wodurch es an Dicke ab-, an Länge und — insoweit dies die Konstruktion des Walzwerkes zuläßt — in geringem Maße auch an Breite zunimmt. Manchmal läuft das Arbeitsstück die gleichen Walzen mehrmals durch, wobei die Walzen nach jedem Durchgang („Stich“) nähergerückt werden (Walzen von Blechen). Beim Walzen von Trägern und Schienen läuft das Werkstück durch immer enger werdende Aussparungen („Kaliber“) desselben, eventuell auch eines zweiten Walzenpaares. (Die Walzen sind in diesem Falle nicht nachstellbar, aber mehrere Kaliber sind im selben Walzenpaar.) Bis das Walzgut vom ursprünglichen

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



Block zur fertigen Schiene, zum gebrauchsfertigen Blech oder Draht geformt ist, muß es manchmal 10- bis 20mal ein Walzenpaar durchlaufen. — — —

Das Eisen hat die merkwürdige Eigenschaft, im glühenden Zustand durch die Oberfläche Kohlenstoff aus Holzkohlenpulver oder anderen kohlenstoffhaltigen Stoffen (wie Aetylen $C_2H_4$, das im Leuchtgas vorkommt, Azetylen usw.) aufzunehmen und ins Innere zu leiten. Der aufgenommene Kohlenstoff verwandelt das weiche Flußeisen in Stahl. In dieser Art werden Panzerplatten, die in eigenen sehr großen Walzwerken aus kohlenstoffarmen Eisen geformt werden, oberflächlich in Stahl verwandelt. Der Kohlenstoff erscheint in Form von Eisenkarbid- (Zementit-) Kristallen. Man spricht vom „Einsatzhärten"; wenn die Kohlung das ganze Werkstück durchsetzt vom „Zementieren" (Zementstahl). Dieses Verfahren hat den Vorteil, daß man die Formgebung des Gegenstandes im kohlenstoffarmen Zustand vollenden kann, in dem es viel besser schmied- und walzbar ist als bei höherem Kohlenstoffgehalt. Im Innern bleibt das Material zähe, wenn man das Glühen rechtzeitig abbricht. Panzerplatten werden nach dem Walzen geglüht (weich gemacht), hierauf an der äußeren Oberfläche „zementiert" und hernach gehärtet, indem sie vom glühenden Zustand plötzlich (und zwar durch Öl, nicht durch Wasser) abgeschreckt und damit hart gemacht werden (Patente Harrey-Krupp).

Aber auch das umgekehrte Verfahren findet in der Technik Anwendung: das Entkohlen des Eisens

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



im glühenden Zustand. Diese Entkohlung dient dazu, Gußeisen ohne einen Schmelzprozeß in schmiedbares Material zu verwandeln. Durch längeres Glühen gußeiserner Gegenstände mit sauerstoffabgebenden Körpern, z. B. mit Roteisenerz oder geröstetem Spateisenstein wird dem Gußeisen der Kohlenstoff entzogen.[1]) Man nennt diese Art der Entkohlung von Eisen das „Glühfrischen" oder „Tempern" (Temperguß) und verwendet sie bei der Herstellung von Beschlägen, von kleinen Maschinenteilen, Schraubenschlüsseln, Rädern von Grubenwagen und anderen Massenartikeln. Es macht nämlich mehr Schwierigkeiten, kleinere Gegenstände direkt aus Flußeisen zu gießen: das Flußeisen zieht sich beim Erkalten viel stärker zusammen als das kohlenstoffreiche Roheisen und ist nur sehr hoch überhitzt entsprechend dünnflüssig. Die aus Flußeisen gegossenen Gegenstände haben, besonders wenn sie klein sind, viele Blasen. Daher gießt man sie lieber aus Roheisen (man verwendet dazu weißes) und entkohlt sie durch Tempern. Aus Temperguß hergestellte Gegenstände sind jedoch selten solchen gleichwertig, die von Anfang an aus Flußeisen hergestellt werden. Durch Zugabe von Ferrosilizium und entsprechend hohe Erwärmung des Stahlbades kann man unter Berücksichtigung entsprechender Vorsichtsmaßregeln auch aus

---

[1]) In Amerika wird in Sand geglüht. Man erhält dann allerdings ein anderes Produkt als durch das in Europa gebräuchliche Verfahren.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



Stahl gegossene Gegenstände in tadellosem Zustand erhalten (Stahlguß).

Das Roheisen enthält 2·3 bis 4·5 v. H. Kohlenstoff, in Gegenwart entsprechender Mengen von Mangan und Chrom auch mehr. Im flüssigen Eisen ist der Kohlenstoff in gelöster Form enthalten. Wird geschmolzenes Roheisen rasch zur Erkaltung gebracht, z. B. durch Eingießen in eiserne Formen (Hartguß), so bleibt der Kohlenstoff in gelöster Form — wie man sagt, als „Härtungskohle" — im Eisen gleichmäßig verteilt. Mangan und Chrom unterstützten die chemische Bindung des Kohlenstoffs im Roheisen. Wird jedoch Roheisen langsam abgekühlt, so scheidet sich der kleinere Teil des Kohlenstoffs in Form von Eisenkarbid ($Fe_3C$, Karbidkohle), der größere als Graphit (kristallisiert) ab.[1]) Der abgeschiedene Graphit läßt die Bruchfläche des Eisens dunkler erscheinen, als es die von Eisen ist, das Kohlenstoff nur in gebundener Form enthält, weshalb man graphithältiges Eisen „graues" nennt. Besondere Fälle ausgenommen („Hartguß", wie z. B. für die Backen von Brechmaschinen, gegossene Eisenbahnräder, Griffinräder), benützt man für Gußgegenstände Eisen mit 3 bis 3·5 v. H., Kohlenstoff (Grauguß). Bei aus Grauguß angefertigten Maschinenteilen erhält man Zugfestigkeiten von 1100 bis

---

[1]) Durch nachträgliches Glühen scheidet sich ein Teil des gebundenen Kohlenstoffs (der Härtungskohle) als amorphe (gefügelose) Kohle, als sog. „Temperkohle" ab.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



2700 kg/qcm. Bei Brückenmaterial (Lagerkörper) aus Gußeisen verlangt man in Österreich eine Mindestdruckfestigkeit von 5000 kg/qcm und eine Mindestzugfestigkeit von 1200 kg/qcm. Die für Dampfzylindermaterial von den k. k. Staatsbahnen vorgeschriebene Mindestzugfestigkeit beträgt 1700 kg/qcm.

Neben der Abkühlungsgeschwindigkeit sind auch Art und Menge der zufälligen oder absichtlichen Beimengungen dafür maßgebend, ob das Roheisen als weißes oder graues erstarrt. Silizium erschwert, Mangan und Schwefel erleichtern die chemische Bindung des Kohlenstoffs durch Eisen, weshalb siliziumreiches Eisen auch bei größerer Abkühlungsgeschwindigkeit noch als graues erstarrt, manganhältiges jedoch auch bei kleinerer als weißes. Graues Roheisen ist silizium-, weißes manganreich.

Um Gußeisen dünnflüssig zu machen, setzt man demselben manchmal absichtlich Phosphor zu, was jedoch das Material spröde macht und daher nur bei Kunstgußgegenständen zulässig ist. Für Gußwaren, von denen man große Zähigkeit verlangt, muß phosphorarmes Roheisen, Hämatitroheisen genannt, verwendet werden.

Es wird nicht nur „graues“ und „weißes“ Eisen, letzteres für „Temperguß“, sondern, wie schon oben erwähnt, auch Stahl für Gußzwecke verwendet (Stahlguß, Stahlgießerei). Stahlguß hat gegenüber Grauguß den Vorteil bedeutend erhöhter Widerstandsfähigkeit gegenüber jeglicher Beanspruchung. Allerdings stellen

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



sich die Gestehungskosten und damit auch der Handelspreis bei ersterem um ein Vielfaches höher als bei letzterem. Die Art der Herstellung von Stahlguß ist die folgende: Der Stahl wird im basischen (oder sauren) Martinofen oder im Konverter aus dem Roheisen erzeugt. Hier zahlt sich noch der saure Ofen, bezw. die sauer „zugestellte“ (d. i. ausgekleidete) Bessemerbirne aus, besonders bei kleinen Betrieben: infolge des kleinen Einsatzes läßt sich das Rohmaterial leichter entsprechend wählen. Die Stahlguß-Martinöfen sind in kleinen Gießereien oft mit nur 2 Tonnen (2000 kg) Fassungsraum gebaut und auch große Gießereien gehen wohl nur selten über 15 Tonnen hinaus. Da der Stahl oft in sehr viele verhältnismäßig kleine Formen vergossen werden muß, so dauert ein solches „Abgießen“ verhältnismäßig sehr lange, bei einer 5 Tonnen-Schmelze annähernd eine Stunde. Je länger nun der flüssige Stahl in der „Pfanne“ bleibt, desto dicker wird die „Schale“, d. i. jener Stahl, der an der Schamotteverkleidung der Gießpfanne fest wird und somit für das Vergießen nicht weiter in Betracht kommt. Diese Schale muß aber nach dem Gießen mühselig aus der Pfanne herausgestemmt werden, wodurch die Pfannenauskleidung beschädigt wird, die dann immer wieder ausgebessert werden muß. Bei länger dauerndem Vergießen wird auch der Stahl immer „matter“, d. i. dickflüssiger und füllt dann die Feinheiten der Gußformen nicht mehr so genau aus. Ja, es kann vorkommen, daß die Abfließvorrichtung der Pfanne mit zunehmender

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



Dicke der Schale nicht mehr bewegt werden kann, so daß die Schmelze in der Pfanne „einfriert“ und diese dann nur durch große Ausbesserungsarbeiten wieder brauchbar gemacht werden kann. Man zieht daher kleine Einsätze vor. Das größte österreichische Stahlgußwerk dürften die Skodawerke in Pilsen sein, wo Geschützwiegen, Panzerkuppeln u. dgl. erzeugt werden. Etwa 30 v. H. der Erzeugung von Skoda gingen im Frieden nach Deutschland, ein Beweis für die Güte des Materials. Das Eisenwerk Witkowitz erzeugt u. a. Schiffsbestandteile wie Steven, es sind dies sehr große Stücke im Gewichte von mehreren Waggonladungen. Im Eisenwerke Trzynietz (Österr.-Schlesien) werden Lokomotivräder, Waggon- und Weichenbestandteile, Brückenteile u. dgl. m. hergestellt.

Der Kohlenstoffgehalt beherrscht die Eigenschaften des Eisens. Er schwankt bei schmiedbarem Eisen und Stahl zwischen 0·03 und etwa 1·6 v. H. Schmiedbares Eisen mit einem Kohlenstoffgehalt von über 0·5 v. H. hat ebenso wie Gußeisen die Eigenschaft, bei sehr schroffer Abkühlung, etwa von der Glühhitze zur Temperatur des kalten Wassers, viel härter und spröder zu werden als bei allmählichem Temperaturübergang.[1]) Man bezeichnet es als „härtbar“ und nennt das deutlich härtbare, schmiedbare Eisen „Stahl“. Ein Eisen,

[1]) Feststellbar ist die Härtbarkeit allerdings schon bei einem Kohlenstoffgehalt von 0·25 v. H. und darunter, bei Verwendung dynamischer Bruchverfahren selbst bei weichem Eisen.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



das Nickel, Chrom, Wolfram, Molybdän oder Vanadin enthält, kann auch mit einem niedrigeren Gehalt als 0·5 v. H. Kohlenstoff deutlich härtbar sein (Sonderstähle, Edelstähle, Spezialstähle).

Die Härtbarkeit des Stahles benützt die Technik bei der Herstellung schneidender und bohrender Werkzeuge, die bei der Formung bearbeitbar, im Gebrauch jedoch möglichst hart und starr sind, insbesonders ihre Schneide möglichst lang behalten sollen. Die schneidenden Werkzeuge (Drehmesser, Hobelmesser) der Metalltechnik werden im ungehärteten Zustand hergestellt; sie haben dann „Naturhärte", d. i. jene Härte, die dem Metalle zukommt, wenn es langsam vom glühenden Zustand auf Zimmertemperatur abgekühlt wird. Ist die Formung des Werkzeuges vollendet, so erfolgt die Härtung jener Stellen, die möglichst widerstandsfähig sein sollen, durch plötzliche Abschreckung vom glühenden Zustand (etwa von 750° C) in kaltem Wasser oder in Öl. Der Gegenstaud erlangt „Glashärte" und läßt sich durch eine Feile nicht mehr bearbeiten. In diesem Zustand ist der Gegenstand sehr spröde und bricht unter der Einwirkung von Stößen leicht ab. Der Kohlenstoff des Eisens verteilt sich gleichmäßig im ganzen Körper als sog. „Härtungskohle." Er ist im Eisen in „fester Lösung" enthalten. Wärmt man den glasharten Gegenstand nachträglich nochmals an, und zwar auf Temperaturen, die erheblich unter der Härtungs- (Abschreck-) Temperatur liegen, z. B. auf 220—320° C, so scheidet sich ein

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



Teil des im Eisen gelösten Kohlenstoffs als Karbidkohle ($Fe_3C$) aus; der Stahl verliert hierbei auch einen Teil der beim Abschrecken erhaltenen inneren Spannungen; er wird zäher, elastischer und auch etwas weicher. Dieses Erwärmen nach dem Härten wird als „Anlassen" des Stahles bezeichnet; der erlangte Härtegrad heißt „Anlaßhärte". Sie kann je nach der gewählten Anlaßtemperatur verschieden hoch sein.

Ein gehärteter Gegenstand erlangt durch neuerliche Erhitzung auf Rotglut (etwa 780° C) und hernach folgende langsame Abkühlung wieder seine Naturhärte. Da die Werkzeuge sich bei anhaltender Arbeit, beim Drehen, Hobeln, Bohren, oft stark erwärmen und damit weich werden, hat man nach Eisenlegierungen gesucht, die unter den bei der Arbeit vorkommenden Hitzegraden keine Anlaßwirkung zeigen, mit denen man also beliebig rasch arbeiten kann. Durch Zusatz von Chrom und Wolfram oder Chrom und Molybdän zum Eisen ist es gelungen, Stahlsorten mit den gewünschten Eigenschaften zu erhalten (Schnelldrehstähle).

Das schmiedbare Eisen (Schweißeisen, Flußeisen) im gewöhnlichen Sinne (auch Stahl ist schmiedbar) hat einen Kohlenstoffgehalt unter etwa 0·5 v. H. und eine Zugfestigkeit zwischen 3000 bis 5000 kg/qcm. Das Flußeisen, das als Brückenmaterial Verwendung findet, hat nach österreichischer Vorschrift eine Festigkeit von 3600 bis 4500 kg/qcm. Für Kesselbleche, die dem Feuer direkt ausgesetzt sind, verwendet die

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



österreichische Staatsbahnverwaltung[1]) Material von 3300 bis 3800 kg/qcm, für solche, die dem Feuer nicht ausgesetzt sind, solches von 3600 bis 4200 kg/qcm Festigkeit. Für Schienen verwendet man Flußstahl von über 6500 kg/qcm Zugfestigkeit; für Kreuzungen einen solchen, der dem Zerreißen mit einer Kraft von über 8000 kg/qcm Widerstand leistet.

Die Bearbeitung von schmiedbarem Eisen soll nie bei Temperaturen zwischen 200 und 350° C stattfinden. Es ist bei diesen Temperaturen spröde und reißt leicht auf. Wird es in diesem Temperaturbereich, von dem der mit der blauen Anlauffarbe (Blauwärme) am gefährlichsten zu sein scheint, bearbeitet, so behält es die Sprödigkeit auch nach der Abkühlung bei. Manche Sorten schmiedbaren Eisens sind diesbezüglich besonders empfindlich, wie man sagt „blaubrüchig". In den Bauvorschriften und Lieferungsbedingungen ist jede Bearbeitung des Eisens in der „Blauwärme" verboten.

Die Geschosse haben Festigkeiten von über 7500 kg/qcm, sind also ziemlich hart und lassen sich rationell nur mit Schnelldrehstahl, d. i. ein solcher, der seine Schneide auch bei höheren Temperaturen beibehält, bearbeiten.

Die hochwertigen Friedensschnelldrehstahlmarken haben einen Wolframgehalt von 18 bis 20 v. H. gehabt. Wegen der Knappheit an Wolfram konnten diese

---

[1]) Vor dem Kriege bestanden die „Feuerbüchsen" der Lokomotiven aus Kupfer, nicht aus Flußeisen.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



hochwertigen Stahlsorten nach einiger Zeit nicht mehr erzeugt werden. Man einigte sich dahin, Schnelldrehstahl mit keinesfalls höherem Gehalt an Wolfram als 12 v. H. zu erzeugen. Erfolgreiche Versuche lehrten, daß man durch Zusatz von Kobalt und Molybdän sowie durch Erhöhung des Gehaltes an Chrom und Vanadin Schnelldrehstähle erzeugen könne, welche die im Frieden erzeugten Sorten sogar übertrafen. Kobalt und Molybdän waren schon im Frieden in gewissen Schnelldrehstählen enthalten; doch konnte man die Wirkung dieser Elemente auch durch die übrigen Bestandteile des Stahles erreichen. Heute bietet die Verwendung dieser Stoffe den großen Vorteil, die Vorräte an Wolfram zu strecken. So erzeugt die Poldihütte heute einen Stahl mit etwa 6 v. H. Wolfram und entsprechenden anderen Elementen, der leistungsfähiger ist als der normale Friedensstahl mit 15 v. H. Wolfram.

Die Edelstahlwerke verwenden heute sämtliche Abfälle wolframhältiger Stähle, ja selbst der mit großen Mengen Schmirgelstaub vermengte Schleifstaub von Schnelldrehstahl wird wieder auf Wolfram verarbeitet, um dieses wichtige und kostbare Material rückzugewinnen.

Während des Krieges wurden in Österreich Wolfram hältige Erze, die im Frieden als nicht abbauwürdig erachtet wurden, gewonnen und auf Wolfram verarbeitet, so daß heute schon eine regelmäßige Zuweisung an eigenem Wolfram erfolgen kann. Begreiflicherweise ist das auf vorerwähnte Art gewonnene Wolfram sehr teuer und damit auch der mit Wolfram

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



legierte Stahl. Gegenüber dem Friedenspreis sind die Kosten des Wolframstahles sehr gestiegen. Die Verwendung von Stählen mit einigen Perzenten Wolfram für Spiralbohrer und Fräser hat fast zur Gänze aufgehört. Für Gewehrläufe wird heute noch wolframhältiger Stahl verwendet (1 bis 2 v. H.), doch lehren die Versuche, daß man auch davon abgehen kann.

Die hohe Leistung, welche die Geschoßpressen aufbringen müssen, erfordert sehr gute Geschoßloch- und Dornstähle. Zu Beginn des Krieges wurden noch Chromnickelstähle, sogar schnelldrehstahlartige Stähle verwendet. Mit Rücksicht auf die gebotene Sparsamkeit mit seltenen Metallen mußte von der weiteren Verwendung solcher Stähle für diese Zwecke abgesehen werden. Heute erzeugen fast alle Edelstahlwerke Geschoßdorn- und Lochstähle, die weder Nickel, Chrom und Wolfram enthalten und deren Leistungsfähigkeit den Chromnickelstählen nahezu vollkommen gleichkommt. Gerade solche Dornstähle werden von Österreich in sehr großen Mengen auch nach Deutschland geliefert. Dasselbe gilt auch von den Ziehringen für Geschosse.

Der Geschoßstahl selbst ist heute zum größten Teil Erzeugnis der eigentlichen Eisenwerke, nicht der Edelstahlwerke. Selbst die Stähle für großkalibrige Geschosse, die man im Frieden aus Chromnickelstahl, der überdies verhütet war, erzeugt hat, sind heute reiner Kohlenstoffstahl. Der Manganmangel zwingt die Werke in Österreich, mit dem Mangangehalt auch bei den gewöhnlichen Stählen herunterzugehen. Auch dies-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



bezüglich sind schon sehr gute Ergebnisse zu verzeichnen. Stahl mit sehr niedrigem Mangangehalt zeigt bei der Warmbearbeitung Neigung zu „Rotbruch". Trotzdem ist es bereits vielen Werken gelungen, die Geschosse auch aus manganarmen Stahl in vollster Brauchbarkeit herzustellen. —

Die Leistungsfähigkeit der Flugzeugmotoren hat sich während des Krieges außerordentlich erhöht. Vor dem Kriege war ein Flugzeugmotor mit 150 Pferdestärken so ziemlich der stärkste. Heute werden Flugzeugmotoren mit 300 Pferdekräften gebaut. Die hohe Steigerung der Leistungsfähigkeit der Flugzeuge bringt bei dem gleichzeitigen Bestreben nach großer Leichtigkeit immer stärker beanspruchte Kurbelwellen mit sich. Die Qualitätszahlen, die heute bei Flugzeug-Kurbelwellen angewendet werden, sind: Festigkeit etwa 11.000 bis 12.000 kg/qcm, bei einer Streckgrenze von 10.000 kg/qcm und darüber.

Neben den Kurbelwellen für Flugzeuge verdienen auch die Kurbelwellen für Automobile und Lastwagen, Mörserzugwagen u. dgl. besonders hervorgehoben zu werden; daneben auch Achsen, Zahnräder, Wellen usw. für Automobile. Diese Teile wurden im Frieden fast ausschließlich aus Nickelstahl und Chromnickelstahl hergestellt. Heute ist man vielfach mit Erfolg dahin gelangt, unlegierte oder mit genügend vorhandenen Stoffen legierte Stähle zu verwenden. Hierbei ist allerdings manchmal eine Konstruktionsverstärkung erforderlich. — —

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



Das österreichische Feldgeschütz war bei Ausbruch des Krieges ein Bronzegeschütz. Welche Vorteile auch immer das Bronzegeschütz in bezug auf das Ausbrennen hat, sicher ist, daß die Tragweite den heutigen Anforderungen nicht mehr entspricht und daß man daher sehr rasch zu Stahlgeschützen übergegangen ist.

Über die Zusammensetzung dieses Stahlmaterials zu sprechen, ist nicht erlaubt. Es soll nur hervorgehoben werden, daß Versuche über geeignete Stahlsorten lange vor Ausbruch des Krieges von den führenden Stahlwerken durchgeführt wurden, die jetzt im Kriege Früchte tragen.

Der Krieg erforderte große Mengen von Panzerblechen, teils zur Panzerung von Geschützen, teils zur Panzerung von Munitionswagen, ferner als sog. Infanterie-Schutzschilde, Gewehrschutzschilde, Helme u. dgl. Im Frieden wurden die Panzerbleche aus hochperzentigem Nickelstahl oder hochperzentigem Chromnickelstahl, oder auch Chrom-Nickel-Vanadium-Stahl hergestellt. Heute werden solche Schilde bereits nickelfrei erzeugt und sind in bezug auf Durchschlagswiderstandsfähigkeit den Friedensschilden vollkommen gleichwertig. Das Wesentlichste an den Schilden ist neben der Zusammensetzung, über die auch nicht gesprochen werden kann, die richtige Verhütung, die den Schilden ein Höchstmaß an Festigkeit und Zähigkeit geben muß.

---

Während des Vortrages wurde neben zahlreichen Lichtbildern ein 1000 m langer Film vorgeführt, der dem Vortragenden von der Generaldirektion der Poldi-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



hütte zur Verfügung gestellt worden war und einen Einblick in den Betrieb eines Edelstahlwerkes ermöglichte. Den Herren o. ö. Prof. Dipl.-Ing. Alfred Haußner und Ingenieur Dr. Fritz Gamillschegg, dem technischen Sekretär der Poldihütte, bin ich für wertvolle Winke sehr zu Dank verpflichtet.

## Literatur.

Gemeinfaßliche Darstellung des Eisenhüttenwesens, herausgegeben vom Verein Deutscher Eisenhüttenleute in Düsseldorf, 9. Auflage, 1915. Verlag Stahleisen.

A. Kraus, Eisenhüttenkunde. Sammlung Göschen 1911. Nr. 152 und 153.

H. v. Jüptner, Grundzüge der Siderologie. Leipzig 1901 bis 1904. Verlag von Arthur Felix.

Simmersbach, Eisenindustrie. Leipzig 1906. Teubner.

Brisker, Eisenhüttenkunde. Leipzig 1907. Verlag Arthur Felix.

Wedding, Grundriß der Eisenhüttenkunde. Leipzig 1900.

Ledebur, Handbuch der Eisenhüttenkunde. Leipzig 1899—1900. Verlag Arthur Felix.

O. Hönigsberg, Die Kessel- und Maschinenmaterialien. Berlin 1914. Verlag von Jul. Springer.

Hütte, Taschenbuch für Eisenhüttenleute. Berlin 1910. Verlag W. Ernst & Sohn.

B. Neumann, Die Metalle. Geschichte, Vorkommen und Gewinnung, nebst ausführlicher Produktions- und Preisstatistik. Halle a. S. Verlag von W. Knapp.

J. Pechar, Kohle und Eisen in allen Ländern der Erde. Berlin 1878. Verlag von W. Springer.

Beck, Geschichte des Eisens. Braunschweig 1884—1903.

# ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien

Jahr/Year: 1917

Band/Volume: 57

Autor(en)/Author(s): Leon Alfons

Artikel/Article: Das Eisen, seine Gewinnung und seine Eigenschaften. 159-214