

## Vom Erz zum Stahl – eine kurze Zusammenfassung der wichtigsten Entwicklungen

**Autor: DI Ferdinand Schwingenschrot, Stahlbauberater des Stahlbauverbandes  
Februar 2010**

### 1. Wie wird aus Erz Eisen bzw. Stahl

Das Element Eisen kommt in der Natur an sich nicht elementar vor, man muss es aus Eisenerzen gewinnen; Ausnahmen sind Meteoriten (Eskimos in Grönland haben über viele Jahrhunderte ihre Schneidwerkzeuge aus einem 30to Meteor geschmiedet). Erze sind chemische Verbindungen des Eisens mit Sauerstoff und einigen anderen Grundstoffen, die u.a. Eisenoxyde, Eisenhydroxyde oder Eisenkarbonate genannt werden und die mehr oder weniger rein oder mit anderen Stoffen verwachsen in der Natur vorkommen. Die Gewinnung des Eisens erfolgt derart, dass man diese chemischen Verbindungen sprengt und somit das freigewordene Eisen aus seiner Umgebung heraus schmelzen kann (Schmelztemperatur von Fe: 1535°C). Sauerstoff hat die chemische Eigenschaft bei hohen Temperaturen mit näher verwandten Grundstoffen als Eisen eine neue Verbindung zu bilden. Diese Loslösung des Sauerstoffs nennt man „Reduktion“, dh. die Eisenerze werden zu Eisen reduziert. Stoffe, die den Sauerstoff aus einer chemischen Verbindung herauslösen können, nennt man „Reduktionsmittel“. Das wichtigste Reduktionsmittel bei der Eisengewinnung ist der Kohlenstoff.

Chemisch reines Eisen ist sehr weich (Zugfestigkeit  $R_m=220\text{MPa}$ , im Vergleich: Stahl der Güte 235 kann eine Zugfestigkeit von  $330\text{MPa}$  bis  $510\text{MPa}$  haben oder Eichenholz mit  $R_m=110\text{MPa}$ , wobei die Rohdichte von Eichenholz  $670\text{kg/m}^3$  gegenüber Stahl mit  $7850\text{kg/m}^3$  beträgt) und findet nur sehr selten technische Verwendung. Im Allgemeinen ist Eisen eine Legierung mit anderen Metallen (zB.: Mangan, Nickel, Aluminium, Chrom, Kupfer, Molybdän etc.) sowie mit Nichtmetallen (zB.: Kohlenstoff, Phosphor, Schwefel etc.) und Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff, um nur einige wichtige Elemente zu nennen. Alle diese Elemente verändern die Eigenschaften des Eisens sehr stark, auch wenn diese nur in geringen Mengen vorhanden sind. Vor allem der Kohlenstoffanteil hat einen wesentlichen Einfluss auf die Verformbarkeit der Legierung. Ist in einer Eisenlegierung der Gewichtsanteil des Kohlenstoffs kleiner 2% - und lässt sich diese ohne Vorbehandlung schmieden - so spricht man von Stahl, ist jedoch der Gewichtsanteil des Kohlenstoffs größer 2% werden diese Eisenlegierungen als Gusseisen oder Roheisen bezeichnet (nicht schmied- und walzbar, ebenso ungeeignet zum Hämmern bzw Pressen).

Jede Legierung besteht aus einem Basismetall (hier: Fe) und Legierungselementen. Stahl ist also eine besondere Eisenlegierung, dh. es gibt Eisenlegierungen und Stahllegierungen. Anders gesagt: jede Stahl-Legierung ist auch eine Eisen-Legierung.

Bis jetzt haben Sie einiges über Eisen, Stahl und Legierungen gelesen. Was ist aber ein unlegierter Stahl und warum ist dieser für uns so interessant? Jeglicher Stahl bei dessen chemischer Analyse die vorgegebenen maximalen Gewichtsprozent für Kohlenstoff, Phosphor, Schwefel, Stickstoff, Kupfer, Silicium, Mangan und Sauerstoff nicht überschritten werden bzw sonstige Legierungselemente unterhalb festgelegter Mindestwerte bleiben wird als unlegierter Stahl bezeichnet. Unlegierte Stähle, die im Stahlbau Verwendung finden werden als Allgemeine Baustähle bezeichnet. Weiters gibt es wetterfeste Baustähle sowie Feinkornbaustähle. Mehr als 60.000 Arten von Stählen gibt es heute weltweit. Die meisten sind im „Stahlschlüssel“ aufgelistet (ein Buch, das in regelmäßigen Abständen aktualisiert wird).

Wärmebehandlung des Stahls:

Sowohl durch besonders schnelles, aber auch durch ungewöhnlich langsames Ändern der Temperaturen kann der Stahl in neue Zustände gebracht werden, die besondere Eigenschaften mit sich bringen. Diese Beeinflussung der Zustandsausbildung, wodurch bestimmte Eigenschaften hervorgerufen werden sollen, nennt man Wärmebehandlung des Stahls und wird in *Glühen, Härten und Vergüten* unterschieden.

Beim Glühen kann unterschieden werden in:

Weichglühen,  
Normalglühen und  
Spannungsarmglühen.

Ebenso unterscheidet man beim Härten in:

Umwandlungshärtung,  
Kalthärtung und  
Ausscheidungshärtung.

Vergüten (hpts. bei Baustählen):

ist eine zusammengesetzte Wärmebehandlung, bestehend aus Härten und nachfolgendem Anlassen auf höhere Temperaturen (400-750°C), womit eine bedeutendere Steigerung der Zähigkeit gegenüber vollgehärtetem Zustand verbunden ist.

Einige Definitionen zu obigen Prozessen:

Normalglühen - dient zur Erzielung eines gleichmäßigen, feinkörnigen Gefüges bei den warmgewalzten Ausgangsprodukten und wird daher im Walzwerk durchgeführt.

Spannungsarmglühen – nicht am Ausgangsprodukt, sondern an fertigen Konstruktionsteilen. Meistens bei räumlichen Gebilden mit hohem Schweißanteil, dh. hohe mehrachsige Spannungszustände. Die Eigenspannungen werden durch die dann auftretenden plastischen Dehnungen abgebaut. Kann beim Fertiger durchgeführt werden, sofern ein dementsprechender Glühofen vorhanden ist.

Umwandlungshärtung – sehr häufig im Maschinenbau, jedoch selten im Stahlbau. Stahl, der über die A3-Temperatur (911°C) erwärmt wurde und rasch abgekühlt wird erfährt eine Härtesteigerung.

Anlassen – Erwärmen eines gehärteten Stahles bis unter die A1-Temperatur (723°C) mit nachfolgender langsamer Abkühlung; die Zähigkeit steigt.

## 2. Übersicht der verschiedenen Verfahren zur Herstellung von Stahl

Historische Verfahren:

Meteoreisen,  
Rennfeuer,  
Stück- oder Wolfsofen,  
Gussstahl,  
Puddelverfahren,  
Bessemerverfahren, ..... Konverterverfahren  
Thomasverfahren, ..... Konverterverfahren  
DSN – Verfahren (Dampf – Sauerstoff - Neunkirchen), ..... Konverterverfahren  
OBM – Verfahren (Oxygen-Bodenblas-Metallurgie-Verfahren),... Konverterverfahren  
Siemens – Martin – Ofen

Konverterverfahren heißt, dass durch Bodendüsen des Konverters Gase in die Roheisenschmelze gepresst werden. Der Konverter ist ein riesiges Gefäß, welches normalerweise in 3 Stellungen geschwenkt werden kann:

- a) Füllstellung, befüllen mit Kalk, Erz etc.
- b) Blasstellung, Zutritt der Druckluft durch Bodendüsen
- c) Kippstellung, Rohstahl und Schlacke werden aus dem Gefäß gekippt.

Die bekanntesten Konverterausführungen sind die Bessemer- und die Thomasbirne.

Aktuelle Verfahren:

LD – Verfahren,  
Elektrostahlverfahren,  
Corexverfahren,  
Finexverfahren.

Zu einigen der vorgenannten Verfahren werden im Pkt. 3 zusätzliche Informationen beigebracht.

Bezüglich der Stahlherstellungsverfahren ist auch zwischen Blasverfahren (Bodenblas- und Aufblasverfahren) und Herdfrischverfahren zu unterscheiden:  
Rennöfen, frühe Hochöfen, das Bessemer- sowie das Thomasverfahren gehören zu den Bodenblasverfahren;  
das LD-Verfahren ist das bekannteste Aufblasverfahren.  
Siemens-Martin-Ofen und das Elektrostahlverfahren sind typische Vertreter für das Herdfrischverfahren.

Heute trachtet man Stahl zunehmend in integrierten Stahlwerken zu produzieren, die die Roheisenherstellung, die Stahlproduktion und die Halbzeug-Fabrikation in einem Werk zusammengeschlossen haben. Ziel ist die größtmögliche Synergie zu erzielen, sprich Kosten zu sparen.

### 3. Die Geschichte der industriellen Fertigung von Stahl

Seit ca. 6000 Jahren dürfte die Menschheit Eisen in Form von Meteoreisen (siehe Pkt. 1) kennen. Die Eisengewinnung aus Erzen und damit die gezielte Verwendung von Eisen wird seit mehr als 3000 Jahren ausgeübt. Mit der Erfindung des Rennofens im alten Ägypten (ca. 1000 v. Chr.) und in China (ca. 200 v. Chr.) begann die Verhüttung von Eisenerz, wobei bereits Temperaturen zwischen 1100°C und 1300°C erreicht wurden. Nach etwa 10h hatte man eine schwarze, mit Eisenkörnern und Schlacke durchsetzte Luppe (Roheisen). Weitere Schmelzvorgänge dienen zur Erhöhung des Eisenanteils, bis die Luppe in Schmiedewerken weiterverarbeitet werden konnte. Auch in Japan und Indien war die Eisenverarbeitung viel früher als bei uns in Europa bekannt. In Österreich ist seit ca. 800 v. Chr. der Erzabbau vom steirischen Erzberg bekannt, wobei ursprünglich das Eisen in Gruben oder niedrigen Brennöfen mit Naturluftzug aus dem Erz mit Holzkohle erschmolzen wurde. Anfang des 13. Jhdts entstand der Stückofen für die Eisenverhüttung, der bereits mit einem Blasebalg betrieben wurde (Temperatur bis 1600°C), ein Vorläufer des heutigen Hochofens. Die ältesten Hochöfen in Europa standen in der Schweiz (Dürstel, Langenbruck), Schweden (Lapphyttan) und in Deutschland (Märkische Sauerland). 1491 wurde – ausgehend von Namur/Belgien – in England die Hochofentechnik eingeführt.

1566 Inbetriebnahme des ersten Hochofens (Brauneisenerz) in Eisentratten (Kärnten)

1784 Puddelverfahren zur Schmiedeeisenerzeugung

Eine Erfindung des Engländers Henry Cort. Er hatte bemerkt, dass der in heißem Roheisen enthaltene Kohlenstoff verpufft, wenn Luft darüber streift. Das Eisenbad musste stetig mit schweren Stangen umgerührt werden (to puddle), um die Schlackebildung hinten zu halten. Dadurch konnte erstmalig ein bruchfester, elastischer Stahl in größeren Mengen

hergestellt werden.

Puddelstahl ist aufgrund des Phosphorgehaltes besonders korrosionsresistent und war daher im Schiffsbau der britischen Marine sehr beliebt.

In Deutschland wurde 1824 durch die Brüder Christian und Friedrich Remy auf dem Rasselstein der erste Puddelofen errichtet. Eberhard Hoesch und Friedrich Wilhelm Harkort sind in diesem Zusammenhang aber genauso verdienstvoll zu erwähnen.

#### 1855 Bessemerverfahren

Benannt nach Sir Henry Bessemer (Brite), der auf der Suche nach besserer Qualität für Kanonen war. Von ihm stammt auch die Bessemerbirne, eine Vorrichtung zur Entkohlung des Roheisens durch Einblasen von Luft oder Dampf (auch saures Windfrischverfahren genannt). Bereits 10 Jahre bevor Sir Bessemer sein Verfahren vorstellte, hatte bereits ein Amerikaner namens Kelly dieses Verfahren entwickelt. Wurde finanziell entschädigt und ist heute völlig vergessen. Sir Bessemer gilt auch als Erfinder des Bleistifts, obwohl dieser eigentlich mit Graphit gefüllt ist.

#### 1864 Siemens – Martin Verfahren

Eine Entwicklung von Friedrich und Wilhelm Siemens (Deutschland) und Pierre-Emile Martin und dessen Vater Emile (Frankreich). Eine technische Weiterentwicklung der bis dahin bekannten Möglichkeiten der Stahlerzeugung in Tiegelöfen; dh. die Temperatur im Ofen konnte auf 1800°C gesteigert werden und somit flüssiger Stahl produziert werden. Bis zu diesem Augenblick konnten nur Temperaturen um 1600°C erzielt werden, wobei aber die Ausmauerung des Ofens schmolz.

Der erste Hochofen stand in Sireuil/Frankreich, im deutschsprachigen Raum war es Kapfenberg (Stmk., 1868). War über 100 Jahre eine der bedeutendsten Technologien für die Stahlherstellung. Die wirtschaftliche Bedeutung des Siemens – Martin – Verfahren lag in der Besonderheit des hohen Schrotteinsatzes. Heute nicht mehr in Verwendung.

#### 1878 Thomasverfahren

Verbesserung des Bessemerverfahrens von Sydney Gilchrist Thomas und seinem Cousin Percy Carlyle Gilchrist (England). In die Ausmauerung der Bessemerbirne (=Thomasbirne) wurde Kalkstein beigemischt, um damit Phosphor zu binden, der zur Versprödung des Stahls beiträgt. Galt im 19. Jhd und in der ersten Hälfte des 20. Jhd als das wichtigste Verfahren (auch basisches Windfrischverfahren genannt).

#### 1949 Stahlerzeugung nach dem Sauerstoffblasverfahren (LD – Verfahren)

LD steht für Linz-Donawitz. Dieses Verfahren wurde u.a. aus dem Zwang geboren, ohne große Anteile von Schrott, über die Österreich nur in geringem Maße verfügt, ausreichende Mengen an hochwertigem Stahl zu produzieren.

Durch eine Lanze wird Sauerstoff auf das Schmelzbad im Konverter geblasen, unerwünschte Begleitstoffe oxidieren und können als Schlacke abgestochen werden. Durch Zugabe von Schrott und Erz kann der Roheiseinsatz verringert und die Schmelze gekühlt werden. In den Konverter muss flüssiges Roheisen chargiert werden, da das Verfahren die Einsatzstoffe nicht aufschmelzen kann. Der fertige Stahl wird durch Kippen des Konvertergefäßes in Pfannen abgestochen.

#### 1960 Stahlerzeugung nach dem Elektrostahlverfahren

Die zum Schmelzen erforderliche Wärme wird entweder durch einen Lichtbogen oder durch Induktion erzeugt. Der Lichtbogenofen wird mit Schrott, Eisenschwamm und Roheisen beschickt. Außerdem werden noch Kalk zur Schlackenbildung und andere Reduktionsmittel beigegeben. Der von den Graphitelektroden zum Schmelzgut verlaufende Lichtbogen erzeugt Temperaturen bis zu 3500°C. Mit Lichtbogenöfen können alle Stahlsorten hergestellt werden; auf Grund der hohen Kosten aber hauptsächlich für Qualitäts- und Edeltahlerzeugung benutzt.

#### 1989 COREX

Die ersten Ideen und Entwicklungen zum Kohle-Reduktionsprozess (Corex) stammen von Ralph Weber aus Brasilien. Das Patent wurde 1978 von Willy Korf (Deutschland) gekauft und gemeinsam mit der damaligen VOEST-Alpine (VAI) zur Industriereife weiterentwickelt. Nach dem Konkurs der Korf-Stahl AG gingen schlussendlich alle Rechte an die VAI, die heutige Siemens-VAI über.

Der Corex-Prozess ist ein Verfahren zum Herstellen von flüssigem Roheisen. Im Gegensatz zum Hochofenprozess wird kein Hochofenkoks benötigt, der besondere Anforderungen an

die eingesetzte Kohle stellt.

Die erste Pilotanlage wurde 1981 in Kehl/Deutschland errichtet. ISCOR aus Südafrika entschloss sich 1985 für eine Corex-Anlage mit 300.000to/Jahreskapazität. Im Dezember 1989 war die Schlüsselübergabe. Die bisher größte Corex-Anlage mit 1,5 Millionen Tonnen Jahreskapazität steht in Shanghai/China, bei der Firma Baosteel. Mitte 2010 soll eine weitere Anlage in dieser Größe bei Baosteel in Betrieb gehen.

Vorteile gegenüber dem Hochofenprozess:

- Einsatzmöglichkeit von nicht verkokter Kohle; ersetzt die Kokerei, die eine wesentliche Emissionsquelle eines Hüttenwerkes ist.
- Auf Grund der hohen Vergasungstemperaturen der Kohle im Einschmelzreaktor werden organische Verbindungen vollständig in ihre gasförmigen Grundkomponenten zerlegt, sowie organische Schwefelverbindungen in kohlenstoff- bzw. wasserstoffhaltige Gase umgewandelt. Diese übelriechenden und hochgiftigen Verbindungen werden im nachfolgenden Prozess im Einschmelzvergaser nahezu quantitativ im Eisenschwamm, in den Zuschlagstoffen und in der Schlacke gebunden und somit immobilisiert.
- Die höhere Flexibilität hinsichtlich der Heterogenität der Beschickung erlaubt eine stabile Prozessführung selbst bei stark variierender Rohstoffqualität.

Nachteil:

- Enorme Mengen an anfallendem Corexgas, welches verwertet werden muss, um den Prozess wirtschaftlich betreiben zu können. Da das Gas als Brennstoff im laufenden Prozess schlecht in ein gewachsenes Hüttenwerk zu integrieren ist, wird es vorwiegend an Energieversorger oder an die Schwerindustrie als Heiz- und Feuerungsgas weiterverkauft.

#### 2007 FINEX

Dieses Verfahren wurde von Siemens-VAI gemeinsam mit Posco/Südkorea seit 1992 entwickelt. Im August 2004 wurde bei Posco die Entscheidung getroffen, eine Finex-Anlage mit 1,5 Millionen Tonnen Jahreskapazität in Pohang zu errichten, die mit 2007 in Betrieb ging.

Das Finex-Verfahren kommt ohne die beim klassischen Hochofenprozess notwendige Aufbereitung in Sinter- und Pelletieranlagen aus. Stattdessen wird das Feinerz in einem Wirbelschichttrockner getrocknet, anschließend kommt es in einen mehrstufigen Wirbelschichtreaktor, wo es mittels Reduktionsgas zu DRI (Direct Reduced Iron) reduziert wird. Das DRI wird zu HCI (Hot Compacted Iron) kompaktiert und anschließend in einen Einschmelzvergaser eingebracht, wo es zu Roheisen aufgeschmolzen wird. Am Ende des Prozesses werden Roheisen und Schlacke wie bei einem Hochofen abgestochen. Durch den direkten Einsatz von Kohle und Feinerz werden die umweltbelastende Kokserzeugung und das Feinerz-Sintern erspart.

Weitere Meilensteine in der Entwicklung/Verbesserung von Stahlerzeugung:

#### 2007 MEROS (Maximized Emission Reduction Of Sintering).

Siemens-VAI errichtet für die VA-Stahl bei der Sinteranlage 5 in Linz die weltweit modernste Umwelanlage.

#### 2009 Weltweit 1. Endlosstahlproduktion für Bleche ESP (Endless Strip Production).

Die Technologie stammt von Arvedi (Italien); Siemens-VAI errichtet gemeinsam mit Arvedi bei Acciaieria Arvedi SpA/Cremona die erste Anlage.

Verfasser: DI. Schwingenschrot (Feber 2010)  
 Quellenangaben: Was ist Stahl, 13. Auflage 1968 (Leopold Scheer)  
 Stahlbau, 6. Auflage 2007 (Dr. Luza, Dr. Palka, DI. Schnaubelt)  
 Metals&Mining, diverse Artikel von Siemens-VAI  
 Internet-Wikipedia