

Stahlerzeugung

Kupol-Puddel-Bessemer-Thomas-Siemens-Martin

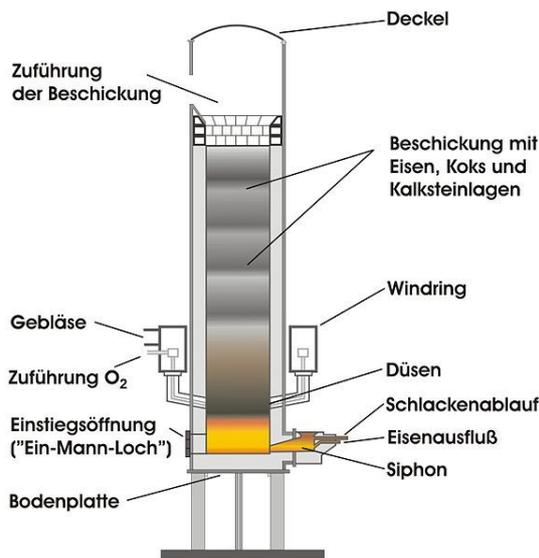
Inhaltsverzeichnis

1 Kupolofen	1
1.1 Geschichte	1
1.2 Aufbau und Funktion	1
1.2.1 Gusseisen	2
1.3 Weiterentwicklungen	2
1.4 Literatur	2
1.5 Weblinks	2
1.6 Quellen	2
2 Puddelverfahren	3
2.1 Terminologie	3
2.2 Puddelofen	3
2.3 Verfahren	4
2.4 Weiterverarbeitung	5
2.5 Verbreitung	5
2.6 Verwendung	6
2.7 Literatur	6
2.8 Weblinks	6
2.9 Einzelnachweise	6
3 Bessemerbirne	7
3.1 Beschreibung der Bessemerbirne	7
3.2 Das Bessemerverfahren	8
3.3 Weitere Methoden der Stahlherstellung	9
3.4 Weblinks	9
4 Thomas-Verfahren	10
4.1 Verfahrensweise	10
4.2 Geschichte	10
4.3 Nachteile des Verfahrens	10
4.4 Bekannte Schadensfälle	11
4.5 Siehe auch	12
4.6 Weblinks	12

4.7	Quellen	12
4.8	Einzelnachweise	12
5	Siemens-Martin-Ofen	13
5.1	Verfahrensweise	13
5.1.1	Technologischer Ablauf	13
5.1.2	Aufbau eines Siemens-Martin-Ofens	14
5.2	Geschichte	14
5.2.1	Der letzte Siemens-Martin-Ofen in Westeuropa	15
5.3	Weblinks	15
5.4	Text- und Bildquellen, Autoren und Lizenzen	16
5.4.1	Text	16
5.4.2	Bilder	16
5.4.3	Inhaltslizenz	17

Kapitel 1

Kupolofen

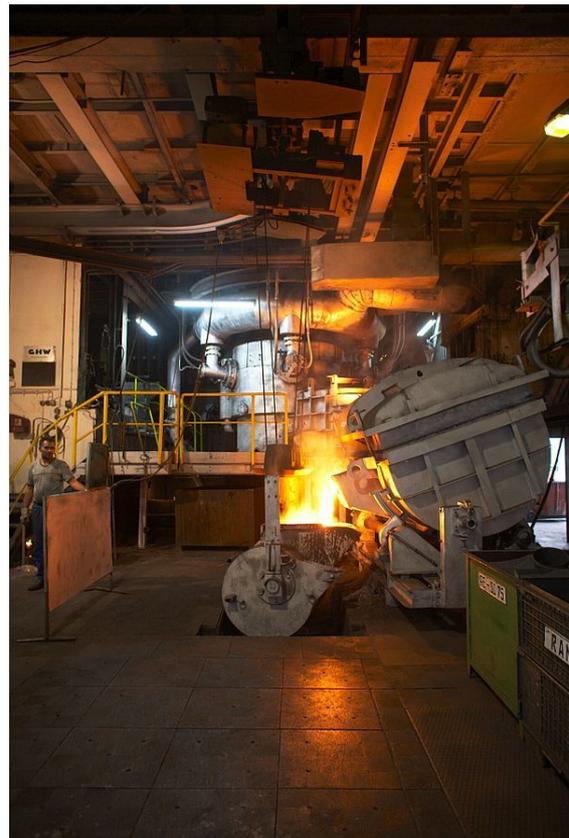


Schema eines Kupolofens

Der **Kupolofen** ist ein **Schachtofen**, in dem Metalle geschmolzen werden können. Kupolöfen werden zur Herstellung von **Gusseisen** aus **Roheisen** und **Schrott** eingesetzt. Der Kupolofen ähnelt in Aufbau und Betriebsweise stark dem **Hochofen**, ist bis zu 20 Meter hoch, erreicht aber nicht die Temperaturen, die zur **Reduktion** von Metallen aus ihren **Erzen** nötig sind.

1.1 Geschichte

Der Kupolofen wurde 1794 von dem Engländer John Wilkinson (1727-1808) erfunden. Der Kupolofen machte den Eisenguss vom viel größeren Hochofen unabhängig, da damit das Eisenschmelzen ermöglicht wurde, ohne die viel höheren Temperaturen eines Hochofens zu benötigen. Kupolofen leitet sich dabei von der Kuppel ab, in der der lange Ofenschacht noch aus dem Fabrikdach herausragte.^[1]



Kupolofen bei Heunisch-Guss

1.2 Aufbau und Funktion

Um den Ofen zu starten, wird an seinem Grund ein Holzfeuer entzündet und mit **Koks** bedeckt. Bei neueren Öfen wird stattdessen Kohle in den Ofen gefüllt und mit **Gasbrennern** zum Glühen gebracht. Anschließend wird der Ofen bei brennender Glut mit mehreren Schichten aus Metall und Koks aufgefüllt und währenddessen mit Luft angeblasen. Dabei entstehen am Grund des Ofens Temperaturen bis zu 1.600 °C, die das Metall zum Schmelzen bringen. Je nachdem, ob die Luft vorgewärmt in den Ofen geleitet wird oder nicht, unterscheidet man zwischen **Heißwind-** und **Kaltwind-Kupolöfen**.

Zur Entnahme des Metalls muss der Ofen etwas oberhalb

seines Grundes angestochen werden. An das Spundloch schließt ein Siphon an, der zwei Auslässe besitzt: durch den oberen wird die Schlacke in einen Aufnahmebehälter abgeleitet. Durch den anderen wird das Metall unter der Schlacke durchgedrückt und kann z. B. in einen Vorhalteofen geleitet werden. Die Funktion des Siphons ist nur aufgrund eines leichten Überdrucks im Ofen möglich. Die richtige Einstellung des Schlacken- und des Metallauslasses zur Bodenhöhe ist Erfahrungssache.

1.2.1 Gusseisen

Eine besondere Bedeutung hat der Kupolofen für die Gusseisenherstellung. Dabei wird er mit Roheisen, Stahlschrott, Kreislaufmaterial und Maschinengussbruch beschickt. Die Einstellung des Kohlenstoffgehaltes des Gusseisens erfolgt über das Verhältnis Stahlschrott (geringer Kohlenstoffgehalt) zu Maschinengussbruch (hoher Kohlenstoffgehalt). Eine vermehrte Zugabe von Koks erhöht ebenfalls den Kohlenstoffgehalt. Ferner wird Kalk zugesetzt, um die beim Prozess entstehende saure Schlacke zu neutralisieren und besser fließbar zu halten.

Auch durch Einblasen von Luft mit erhöhtem Sauerstoffgehalt lässt sich der Kohlenstoffgehalt des Gusseisens verringern.

1.3 Weiterentwicklungen

Sogenannte kokslose Kupolöfen werden rein mit Erdgas oder Öl betrieben und haben eine bessere Wärmebilanz und niedrigere Emissionen. Da der Koks im Gegensatz zum Hochofen nicht für eine chemische Reaktion zwingend benötigt wird, ist diese Umstellung möglich.

Kupolöfen werden aber in zunehmendem Maß auch durch Induktionsöfen ersetzt, da diese im Gegensatz zum koksgefeuerten Kupolofen weniger Schlacke und Abfälle produzieren, flexibler in der Verwendung sind und mit ihnen die Zusammensetzung des Schmelzprodukts genauer eingestellt werden kann. Sie produzieren allerdings nicht kontinuierlich Schmelze. Nachteilig für die Herstellung von Gusseisen ist das nachträgliche Aufkohlen der Schmelze in einem Rinneninduktionsofen, außerdem können Induktionsöfen nur mit vorbehandeltem Schrott beschickt werden. Bei großen Mengen sind sie wegen ihres Betriebs mit elektrischer Energie weniger wirtschaftlich als ein Kupolofen. Allerdings wiegen die Vorteile des Induktionsofens die Nachteile in vielen Anwendungsfällen auf.

1.4 Literatur

- Karl-Heinz Caspers: *Beginn und Entwicklung des Schmelzens im Kupolofen*. In: Landschaftsverband Rheinland, Rheinisches Industriemuseum, Thomas

Schleper, Burkhard Zeppenfeld (Hrsg.): *St. Antony - die Wiege der Ruhrindustrie, ein „Wirtschaftskrimi“ um die erste Eisenhütte im Revier*. Begleitbuch zur Ausstellung in der St. Antony-Hütte. Aschendorff, Münster 2008, S. 122–124, ISBN 978-3-402-12764-3.

1.5 Weblinks

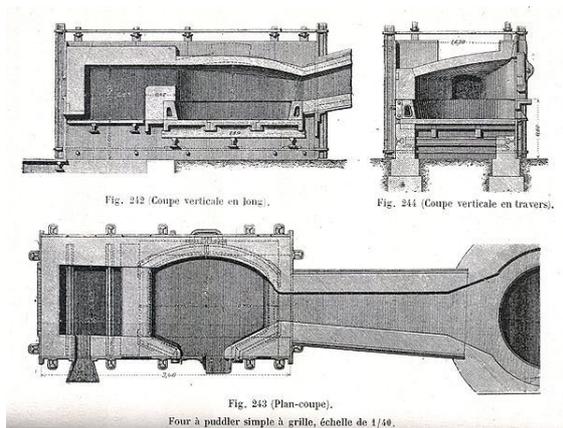
- Koksloser Kupolofen - das umweltfreundliche Schmelzaggregat Funktionsbeschreibung gasbeheizter Kupolöfen auf der Website der Gießerei Dueker.de, abgerufen am 18. Oktober 2012.

1.6 Quellen

- [1] LKG Fachbegriffe “Eisenkunstguss”

Kapitel 2

Puddelverfahren



Puddelofen

Das **Puddelverfahren** (auch *Flammofenfrischen* genannt) war ein im 19. Jahrhundert verbreitetes Verfahren zur Umwandlung des im Hochofen hergestellten **Roheisens** in Stahl bzw. nach früherer Terminologie in **Schmiedeeisen** (englisch *wrought iron*), später auch zu **härtbarem Schmiedestahl**. Im Puddelverfahren entstand durch **Fruschen** eine von **Schlacketeilchen** durchsetzte **kohlenstoffarme Luppe**, die in mehreren Arbeitsgängen durch **Schneiden** und **Schmieden** weiterverarbeitet wurde.^[1]

Erfunden hat das Puddelverfahren 1784 der Engländer **Henry Cort**. Er hatte bemerkt, dass der in heißem Roheisen enthaltene Kohlenstoff verpufft, wenn Luft darüber streift.

Während vor dieser Erfindung Kohlenstoff und andere Eisenbegleiter nur durch die von Gebläsen unterstützte Verbrennung der immer seltener und teurer werdenden **Holzkohle** entfernt werden konnten, beruhte sein Verfahren auf der Verbrennung von billiger **Steinkohle**, ohne dass Gebläse oder Tiegel verwendet werden mussten.

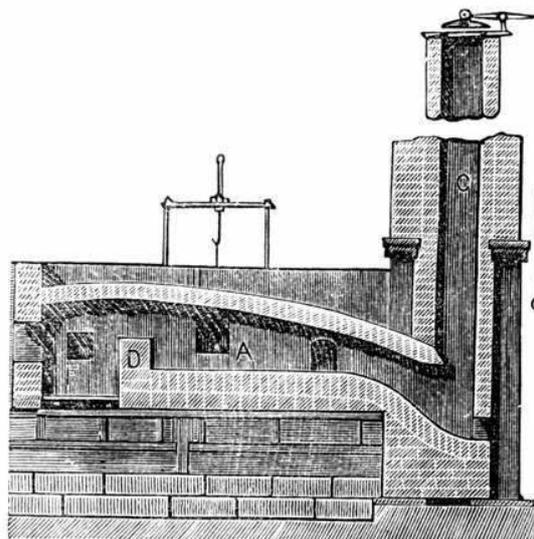
2.1 Terminologie

Gemäß der seit Beginn des 20. Jahrhunderts üblichen Einteilung von Eisen in kohlenstoffreiches, nicht plastisch umformbares, also nicht schmiedbares, Gusseisen und kohlenstoffarmen, umformbaren, schmiedbaren Stahl,

wird Schmiedeeisen seitdem unter dem Begriff **Stahl** eingeordnet. Es ist aber aufgrund einer geringfügig anderen Legierung und insbesondere aufgrund der in ihm enthaltenen Schlackereste nicht identisch mit modernem Stahl.

Früher bezeichnete **Stahl** nur eine kleine Gruppe von Spezialprodukten mit einem Kohlenstoffgehalt von 0,4 % bis 1,2 %, die schmied- und schweißbar und vor allem härter waren. Alle anderen Produkte aus gefrischem Roheisen wurden als *schmiedbares Eisen*, *Schmiedeeisen* oder *Frischeisen* bezeichnet. Als sich das Bessemer-Verfahren verbreitete, mit dem **Flussstahl** oder *Flusseisen* erzeugt wurde, bezeichnete man schmiedbares Eisen als *Schweißeeisen* und die daraus erzeugten Stähle als *Schweißstahl*.

2.2 Puddelofen



Schematischer Abriss

Der aus feuerfesten Ziegeln gemauerte Puddelofen hatte einen gesonderten Verbrennungsraum, in dem **Steinkohle** auf einem Rost verbrannte. Durch entsprechende Klappen konnte Kohle eingebracht und die Asche entfernt werden. Die heißen Verbrennungsgase zogen unter einer gewölbten Decke durch den benachbarten Arbeitsraum

und erst anschließend in den Kamin. Eine kleine Mauer, die sogenannte *Feuerbrücke* zwischen Verbrennungs- und Arbeitsraum verhinderte einen Kontakt zwischen Kohle und Eisen. Die Verbrennungshitze wurde auch durch die Ofendecke in den Arbeitsraum reflektiert. Im Arbeitsraum lag das zu bearbeitende Eisen in einer flachen Mulde (englisch *puddle* = „Pfütze“), die gerade so groß war, dass der Puddler mit seinen langen Stangen noch jeden Teil der Mulde erreichen konnte. Die Mulde war, wie in den Gießereien üblich, mit Sand ausgekleidet. Der Arbeitsraum hatte eine Klappe, durch die die Roheisenbarren eingebracht und am Ende des Verfahrens die Luppen entnommen wurden, die aber sonst bis auf eine kleine Öffnung verschlossen blieb, durch die der Puddler seine Arbeitsstangen stecken und das Eisen bearbeiten konnte. Auch diese Öffnung konnte verschlossen werden. Die Zufuhr von Luft in den Arbeitsraum sollte möglichst vermieden werden, weil sie das Eisen oxidiert hätte. Eine Klappe auf dem Kamin diente der Temperaturregelung.

Das Prinzip des Puddelofens blieb unverändert. Kleinere Änderungen dienten in erster Linie dazu, die Kosten des Baus und der Wartung der Öfen zu senken. Ursprünglich musste die Sandauskleidung und ein Teil des Mauerwerks wöchentlich erneuert werden. So wurden Hohlräume für eine Luftkühlung in die Feuerbrücke und unter den Arbeitsraum eingefügt oder der Puddelofen durch äußere Gusseisenplatten verstärkt. Es gab Puddelöfen mit einer Art gusseisernem Skelettbau, in das die feuerbeständigen Mauerteile eingefügt wurden. Der Boden unter dem Sandbett der Mulde wurde als gusseiserne Platte ausgeführt. Anstelle des Sandbetts wurde manchmal eine Auskleidung aus Schlacke verwendet. Häufig wurde gegenüber der Feuerbrücke eine sogenannte Fuchsbrücke eingebaut, ebenfalls ein Mäuerchen, das das Abfließen von Schlacke zusammen mit dem Eisen verhinderte. Später wurden die Proportionen an andere Brennstoffe oder Eisenqualitäten angepasst.

Der Puddelofen konnte nicht vergrößert werden, da seine Mulde durch die Reichweite der Arbeitsstangen des Puddlers – und seiner physischen Leistungsfähigkeit – begrenzt war. Gelegentlich gebaute Doppelöfen waren deshalb eigentlich nur zwei aneinandergebaute Öfen. Versuche mit mechanischen Puddelvorrichtungen waren nicht erfolgreich.

2.3 Verfahren

Im Puddelofen wurde eine ausreichende Hitze erzeugt, um das meist als *Barren* eingebrachte Roheisen zu schmelzen und es anschließend zu frischen, d. h. in einem Oxidationsprozess seinen Gehalt an Kohlenstoff und an Eisenbegleitern wie Silizium, Mangan, Phosphor und Schwefel zu senken. Während das flüssige Eisen sich allmählich entkohlte, stieg sein vom Kohlenstoffgehalt abhängiger Schmelzpunkt. Während die Temperatur im Ofen weitgehend gleich blieb, wurde das Metall immer



Puddler bei der Arbeit

steifer, bis es zu Luppen zusammengeschoben und dem Ofen entnommen werden konnte.

In der Feuerkammer wurde die in England reichlich vorhandene und deshalb billige Steinkohle verbrannt, während der Arbeitsraum so weit wie möglich luftdicht verschlossen war. Dadurch schmolzen die in der Mulde des Arbeitsraums liegenden 200 bis 250 kg Roheisenbarren. Die Feuerbrücke verhinderte, dass das Eisen unerwünschte Bestandteile der Kohle wie vor allem Schwefel aufnahm, der es unbrauchbar gemacht hätte.

Der für die Oxidation erforderliche *Sauerstoff* kam hauptsächlich aus der an Eisen-Sauerstoffverbindungen und anderen *Oxiden* reichhaltigen Schlacke, die vom Puddler ständig mit dem zähflüssigen bis teigigen Eisen in Kontakt gebracht werden musste. Der Puddler musste dazu das Roheisen mit der auf ihm schwimmenden Schlacke ständig mit seinen langen Rühr- und Kratzstangen umrühren (englisch *puddle*), um den Kohlenstoff und die Eisenbegleiter zu verbrennen (zu oxidieren). Bläuliche Flammen (CO) zeigten den Vorgang an. Der Puddler musste dabei seine Stangen öfters wechseln, bevor sie weich wurden. Infolge des Kohlenstoffverlusts bildeten sich Klumpen von Eisen, die der Puddler in 4 bis 6 gleich große, etwa 40 kg schwere Haufen zusammendrückte, aus denen sich blumenkohlartige Luppen bildeten. Bei unzureichender Bearbeitung konnten die Luppen auch auseinanderfallen, so dass sie der im Akkord arbeitende Puddler erneut bearbeiten musste. Die Luppen wurden zur Feuerbrücke geschoben, dem heißesten Ort in der Mulde, wo sie bei geschlossener Arbeitsöffnung für 4 bis 6 Minuten der größtmöglichen Hitze ausgesetzt wurden.

Anschließend wurde die Klappe des Arbeitsraums geöffnet, die Luppen mit einer Zange entnommen und über den Hallenboden des Hüttenwerks zum wasserbetriebenen Fallhammer, seit der Erfindung von James Nasmyth in den 1840er Jahren auch zum Dampfhammer geschleppt. Später wurden sie in Wägelchen transportiert. Als Letztes ließ der Puddler die flüssige Schlacke aus dem Ofen ablaufen.

Die Menge und die Qualität der erzeugten Luppen hingen im Wesentlichen vom Geschick und der Kraft des Puddlers ab, die er in einem meist 12-stündigen und nicht selten auch 16-stündigen Arbeitstag einsetzen konnte.

Es bildeten sich drei verschiedene Verfahren heraus:

Das *Puddeln auf Stahl* war zwar im Patent von Henry Cort als Möglichkeit beschrieben, aber nach früheren Versuchen in Kärnten erst von Franz Anton Lohage und Gustav Bremme aus Unna in den späten 1840er Jahren zur Produktionsreife gebracht worden. Das Verfahren bestand im Wesentlichen darin, dass die letzte Phase der Entkohlung vermieden wurde und die Luppen schneller gebildet und sofort ausgeschmiedet wurden. Es war stark von der Temperaturführung abhängig und von der Fähigkeit des Puddlers, unter der Schlackenschicht, die das Eisen vor der Oxidation mit der Luft schützte, (nur) solange zu rühren, bis der richtige Grad der Entkohlung erreicht war. Damit konnten nur sehr erfahrene Puddler betraut werden. 1853 wurden im rheinisch-westfälischen Bergdistrikt ca. 2600 t Schweißstahl erzeugt, was 40 % der gesamten preußischen Rohstahlproduktion entsprach.

So wie der Ofen blieb auch das Verfahren im Prinzip unverändert. In anderen Ländern wurden später auch andere Brennstoffe eingesetzt wie z. B. Holzkohle, Holz, Braunkohle oder getrockneter Torf, wobei die Abmessungen der Puddelöfen den Eigenschaften der Brennstoffe angepasst werden mussten. Man setzte auch flüssiges Roheisen ein, was aber meist an den Platzproblemen in der Werkshalle scheiterte. Faber du Faur setzte Gichtgas aus dem Hochofen als Brennstoff ein, was aber zur Folge hatte, dass eine Störung in einem der Öfen sich unmittelbar auf den anderen Ofen auswirkte.

2.4 Weiterverarbeitung

Die Luppe mit einem Schlackengehalt von bis zu 4 % wurde unter dem Hammer zu porösen Fladen geformt, die von einer Rillenwalze in flache Stäbe gepresst und geschnitten wurden. Mehrere solche Stäbe aus verschiedenen Produktionen mit unterschiedlichen Eisenqualitäten wurden anschließend mit Draht gebündelt, im Schweißofen erhitzt und wiederum zu Stäben gewalzt, bis nach mehreren Arbeitsgängen das fertige Halbzeug in Form von Stangen, Blechen oder Platten entstand. Dabei wurde der Schlackengehalt bis auf 0,6 % verringert, konnte aber nie ganz entfernt werden. Schweißbeisen war immer schlackenhaltig, die dadurch entstehende Maserung war am Bruchgefüge mit bloßem Auge erkennbar. Schweißbeisen war deshalb korrosionsbeständiger als Flusseisen.

Mit der Verbreitung des Schmiedeeisens entwickelten sich auch die Verarbeitungsverfahren: 1820 erhielt John Birkinshaw ein Patent zur Herstellung gewalzter Eisenbahnschienen, die die Grundlage für den Bau des Eisenbahnnetzes wurden. T-Träger wurden anfänglich aus Winkeleisen und Blechen genietet. 1830 wurden in

England die ersten T-Träger gewalzt. 1839 erfand James Nasmyth den Dampfhammer. Die größten und stärksten Bleche, die 1847 für den Bau der Britanniabücke gewalzt werden konnten, maßen 3,65 m x 0,71 m und waren bis zu 2,44 cm stark.^[2] Doppel-T-Träger konnten nach der Erfindung des Universalwalzwerks 1849 als Profil gewalzt werden. 1851 walzte Alfred Krupp erstmals einen nahtlosen Radreifen, für den er 1853 ein Patent erhielt. 1861 nahm er den Dampfhammer „Fritz“ in Betrieb, der ein Hammergewicht von 30 t hatte, das später auf 50 t erhöht wurde.

2.5 Verbreitung

Das Puddelverfahren wurde 1784 von Henry Cort entwickelt und verbreitete sich zunächst von Südwesten aus in England und Schottland, ab 1820 auch auf dem Kontinent. Während der beginnenden Industrialisierung erlangte es zunehmende Bedeutung (z. B. für die Herstellung von Dampfmaschinen und Eisenbahnschienen). Um 1810 sollen mehr als 94 Puddelöfen existiert haben. Zu Beginn der 1860er Jahre gab es 3600 Öfen, der Höchststand wurde 1873 erreicht mit 7264 Puddelöfen in 287 Eisenwerken. Die im Puddelverfahren produzierte Menge stieg in Großbritannien und Frankreich bis 1882, in Deutschland und Belgien bis 1889. Gleichzeitig ging aber der prozentuale Anteil an der Gesamtproduktion von Eisen und Stahl laufend zurück, da die Gesamtmenge zunächst durch das Bessemerverfahren und wenig später auch durch das Siemens-Martin-Verfahren erhöht wurde.

Das Bessemerverfahren setzte sich anfangs nur langsam durch, da es auf phosphorfreies Eisen angewiesen war, während die Puddelöfen unterschiedliches Eisen zu einer breiten Produktpalette verarbeiten konnten. Die Verdrängung des Puddelverfahrens durch das Bessemerverfahren begann auf dem lukrativen Schienenmarkt, aber das Puddelverfahren wurde noch lange für viele durch Schmieden erzeugte Produkte bevorzugt, so auch von der britischen Marine, die wegen der besseren Korrosionsresistenz auf seiner Verwendung im Schiffbau bestand. Mancher Unternehmer wartete wohl auch auf das Ablaufen der Patente.

Erst als im Laufe der 1880er Jahre das Thomas-Verfahren eingeführt, seine Kinderkrankheiten überwunden und die Produktion unterschiedlicher Stahlqualitäten in großen Mengen beherrscht wurde, setzte die Verdrängung des im Puddelverfahren erzeugten Schmiedeeisens ein. 1913 war sein Anteil auf wenige Prozent gefallen, nur in Großbritannien betrug er noch 13,6 %. Die Konverter produzierten Stahl wesentlich schneller und kostengünstiger.

2.6 Verwendung

Schmiedeeisen aus dem Puddelofen hatte einen breiten Anwendungsbereich. Aus ihm wurden u. a. Stab- und Profileisen, Bleche, Drähte und auch Besteck hergestellt. Zahllose Brücken wurden aus Schmiedeeisen gebaut, wie z. B. die frühere Dombrücke in Köln, die Rheinbrücke Waldshut–Koblenz, die Griethausener Eisenbahnbrücke, das Garabit-Viadukt in Frankreich oder die Ponte Maria Pia und die Ponte Dom Luís I in Porto. Auch das damals höchste Gebäude der Welt, der Eiffelturm wurde aus Schmiedeeisen gebaut.

2.7 Literatur

- Oscar Stillich; H. Steudel, *Eisenhütte. Eine Monographie*, R. Voigtländer Verlag in Leipzig [ca. 1908], Seiten 90 bis 100
- Handbuch der Eisenhüttenkunde Band 3 von A. Ledebur, 5. Auflage, Verlag von Arthur Felix, Leipzig 1908, Seite 195 ff.
- Akoš Paulinyi: *Das Puddeln : ein Kapitel aus der Geschichte des Eisens in der industriellen Revolution*. München, Oldenbourg-Verlag 1987 (gemeinsam mit dem Deutschen Museum), ISBN 3-486-26200-9.

2.8 Weblinks

 **Commons: Puddelöfen** – Sammlung von Bildern, Videos und Audiodateien

- Bei den Sklaven der «Alpinen» - Eine Nacht im Schwechater Werk, Augenzeugenbericht aus dem Jahre 1900 von Max Winter

2.9 Einzelnachweise

- [1] Die Angaben in diesem Artikel beruhen im Wesentlichen auf der Schrift von Akoš Paulinyi: *Das Puddeln: ein Kapitel aus der Geschichte des Eisens in der industriellen Revolution*. München, Oldenbourg-Verlag 1987 (gemeinsam mit dem Deutschen Museum), ISBN 3-486-26200-9.
- [2] A Resident Assistant: *General description of the Britannia and Conway tubular bridges on the Chester & Holyhead Railway*. Chapman & Hall, London 1849, S. 16 f. (Digitalisat auf Google Books)

Kapitel 3

Bessemerbirne



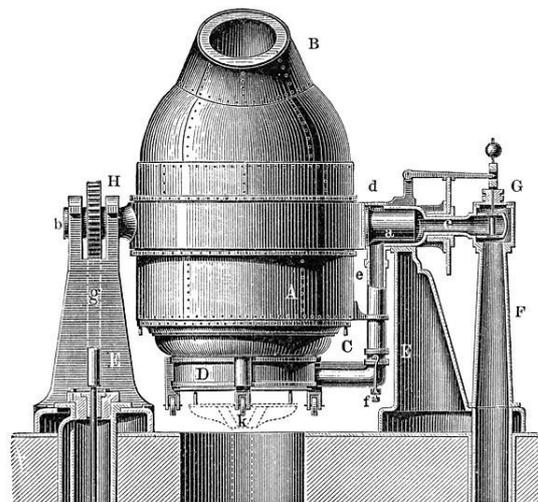
Blasende Bessemerbirne (1941)

Die **Bessemerbirne** ist ein zylinderförmiges feuerfestes Gefäß, mit dem aus **Roheisen** Stahl erzeugt wird. Das Verfahren wird nach seinem Entwickler **Henry Bessemer** benannt, der es nach der Mitte des 19. Jahrhunderts in England herausbrachte. Es wird heute nicht mehr angewendet.

In der Bessemerbirne wird **Luft** durch das im **Hochofen** geschmolzene und sehr **kohlenstoffreiche** Roheisen geblasen. Der Kohlenstoff und andere Elemente verbrennen zu Kohlenstoffmonoxid, Kohlenstoffdioxid und anderen Oxiden, dadurch steigt die Temperatur der Schmelze weit über die Schmelztemperatur des Roheisens von 1.150 °C mindestens auf die des Stahls, welche bis zu 1.536 °C betragen kann. Wenn der Kohlenstoffgehalt im Eisen unter einen bestimmten Wert gesunken ist, ist aus dem Roheisen Stahl entstanden. Wann die Zusammensetzung der gewünschten entspricht, erkennt der Fachmann an der **Flammenfärbung** am Austritt der Bessemerbirne.

Die Bessemerbirne ist ein sogenannter bodenblasender Konverter. Damit die Bessemermethode funktioniert, muss das Roheisen **phosphor- und schwefelarm** sein. Roheisen ohne diese Eigenschaft wurde in der **Thomasbirne** zu Stahl verarbeitet.

3.1 Beschreibung der Bessemerbirne



Schematische Darstellung einer Bessemerbirne

Bei dem Bessemerprozess benutzt man einen Ofen mit beweglicher Birne (Konverter, Retorte). Diese Bessemerbirne **A** mit Hals **B** besteht aus **Eisenblech** und ist mit feuerfesten Ziegeln ausgekleidet. Diese Ziegel werden für den sauren Prozess aus **Quarzit**, Tonstein und geringen Mengen feuerfesten Tons hergestellt und gebrannt. Für den basischen Prozess bereitet man Steine aus gebranntem und gemahlenem **Dolomit** mit entwässertem **Teer**, indem man die Masse in hydraulischen Pressen einem starken Druck aussetzt. Bisweilen werden die Steine auch in eisernen Formen gestampft und dann geblüht.

Das Bodenstück **C** ist entweder an dem Hauptkörper **A** fest angenietet, oder kann davon abgenommen werden, um voll feuerfesten Materials gestampft zu werden, in



Bessemerbirne (Sheffield)

dem man konische Öffnungen zur Aufnahme von sieben Tonformen lässt, deren jede wieder 7–13 zylindrische Kanäle (Düsen) von 9–12 mm Durchmesser zur Windzuführung hat. Mittels eines hydraulischen Kolbens *k* wird der auf Rollen laufende Windkasten *D* unter dem Boden der Birne angedrückt. Die Birne ist in Zapfen *a* und *b* aufgehängt, die auf einem Gestell *E* ruhen. Die Gebläseluft strömt aus der Windleitungsröhre *F* durch die Röhre *c* in einen Raum zwischen dem Zapfen *a* und der auf dem Ständer *E* ruhenden Hülse *d* und begibt sich durch das Rohr *e* in den damit durch einen Bügel *f* verbundenen Windkasten *D*, aus dem der Wind durch die Düsen in die Birne gelangt.

Die Regulierung des Windes geschieht von einem Arbeiter mittels eines Ventils an der Windleitungsröhre, oder der Windzutritt reguliert sich beim Kippen des Apparats von selbst mittels eines exzentrischen Ringes auf dem Zapfen *a*, der beim Drehen einen Hebelarm hebt und senkt und damit auch ein über der Röhrenmündung *F* in *G* befindliches, durch ein Gewicht niedergehaltenes Ventil. Die Bewegung der Birne *A* geschieht durch eine Kippvorrichtung mittels Zahnrades *H*, in das eine von dem Kolben einer hydraulischen Presse bewegte Zahnstange *g* eingreift.

Bei großen Birnen wendet man zu diesem Betrieb auch Dampfkraft, bei kleinen Handkurbeln an. Kleinere Birnen fassen bis 1000, größere bis zu 8.000 kg; eine solche

zum Beispiel von 5.000–6.000 kg Inhalt hat im mittleren Teil 1,5–2 m Durchmesser und 0,8–1 m Höhe.

3.2 Das Bessemerverfahren

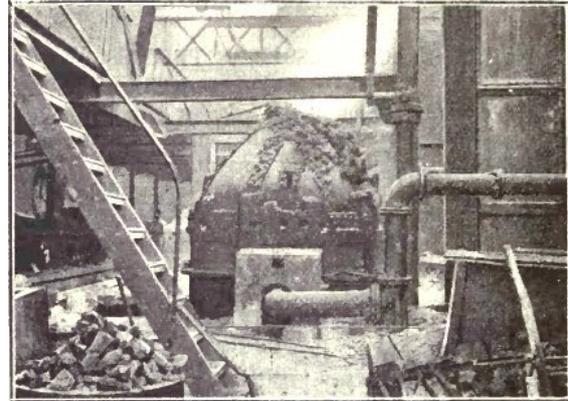
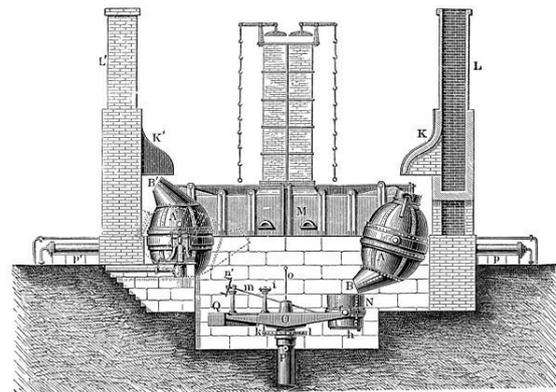


Fig. 30.—Bessemer Converter while Blowing.

Blasende Bessemerbirne (1917)



Bessemeranlage

Man lässt das Roheisen direkt aus einem Hochofen oder aus einem Kupolofen in einer Rinne durch den Hals der Birne *A'* einfließen und kippt diese dann auf bei gleichzeitiger automatischer Anlassung des Windes. Der Hals *B'* der Birne *A'* befindet sich dann unter einem mit der Esse *L'* in Verbindung stehenden Schirm *K'*.

Nach vollendeter Entkohlung lässt man in einem Kupol- oder Flammofen *M* eingeschmolzenes Spiegeleisen durch den Hals einlaufen oder setzt glühendes Ferromangan oder Siliziumeisen zu, richtet die Birne nochmals auf, bläst, wenn erforderlich, noch 2–3 Sekunden und lässt dann bei abgestelltem Wind 5–10 Minuten ruhig stehen, damit absorbierte, blasige Güsse erzeugende, Gase entweichen können.

Hierauf wird die Birne *A* geneigt und ihr Inhalt in die Gießpfanne *N* entleert, die sich am Ende des Balanciers *O* eines hydraulischen Kolbens *P* befindet, der gehoben und

gesenkt werden kann. Q ist ein Gegengewicht am anderen Ende des Balanciers, das je nach dem Inhalt der Gießpfanne N verschoben wird. Zur Füllung der im Halbkreis um den Kran stehenden eisernen Formen wird ein Stopfen h aus einer Öffnung im Boden der Pfanne gezogen und diese mittels Bewegung des Balanciers im Halbkreis über die Formen geführt, indem der Arbeiter durch eine Einrückvorrichtung bei i das Getriebe k in das Zahnrad l eingreifen lässt.

Das Kippen der Gießpfanne N zwecks ihrer Reinigung geschieht mittels der Stange m durch Drehung bei n' ; o Blechwand zum Schutz des die Kurbelscheiben i und n' drehenden Arbeiters; p p' Lager für die Presszylinder der hydraulischen Maschine, die zur Bewegung der Kippvorrichtung dient.

3.3 Weitere Methoden der Stahlherstellung

Die Bessemerbirne wird heute nicht mehr verwendet. Das Verfahren wurde noch im 19. Jahrhundert durch das Thomas-Verfahren optimiert und später durch den aufblasenden Konverter im LD-Verfahren ersetzt. Daneben gibt es weitere Methoden zur Stahlgewinnung: in Lichtbogenöfen und in Siemens-Martin-Öfen.

→ Hauptartikel: *Stahlherstellung*

3.4 Weblinks

-  **Commons: Bessemerbirne** – Sammlung von Bildern, Videos und Audiodateien
- Historische Veröffentlichung (und also Rechtschreibung), keine Bilder; Satzfehler $n \leftrightarrow u$, $b \leftrightarrow h$ eher normal.
Herr Bessemer berichtet: “Ueber Bessemer’s Fabrikation von schmiedebarem Eisen und Stahl ohne Brennmaterial. (Auszugsweise Uebersetzung aus “*The Civil Engineer*, 1856. *September*.”) Pdf-Seiten 67-69 (Zeitschrift Seiten 240-244): *Zeitschrift für Bauwesen* 1857, Hefte III-V.

Kapitel 4

Thomas-Verfahren



Thomas-Konverter der Hörder Kesselschmiede von 1954. Bis 1964 im Thomas-Stahlwerk Phoenix-Ost im Einsatz. Die Thomas-Birne hat eine Höhe von 7 Metern und wiegt 64 Tonnen.

Das **Thomas-Verfahren** oder vollständig **Thomas-Gilchrist-Verfahren** bezeichnet ein Verfahren zur Stahl-Erzeugung und wurde nach den britischen Metallurgen Sidney Thomas (1850–1885) und Percy Carlyle Gilchrist (1851–1935) benannt. Der so erstellte Stahl wird als *Thomasstahl* bezeichnet.

4.1 Verfahrensweise

Das Thomas-Verfahren (auch *basisches Windfrischverfahren* genannt) war ein so genanntes Blas- oder Windfrischverfahren, bei dem durch Bodendüsen des Konverters, der Thomas-Birne, Luft in das flüssige Roheisen geblasen wurde.

Der Oxidationsprozess, der den Kohlenstoffanteil senkt (das Frischen), lieferte in diesem Verfahren genug Wärme, um den Stahl flüssig zu halten, eine externe Wärmezufuhr war in den Konvertern deshalb nicht notwendig.

Die Thomas-Birne war mit einer basisch wirkenden Dolomitstein- oder Dolomit-Teer-Mischung ausgemauert und eignete sich vor allem für das Verarbeiten phosphorreichen Eisens.

Der zu Phosphorpentoxid oxidierte Phosphor wurde mit dem als Zuschlag beigefügten Kalkstein verschlackt (Thomasschlacke) und kam fein gemahlen unter der Bezeichnung *Thomasmehl* als Phosphatdünger in den Handel.

Thomasstahl diente der Fertigung von Schienen, Profilen und Blechen. Fast alle Stahlkonstruktionen der 1950er- bis 1970er-Jahre sind aus diesem Stahl gebaut.

4.2 Geschichte

Das Thomas-Verfahren stellt an sich nur eine geringe Abwandlung des Bessemer-Verfahrens dar, wofür nur die Auskleidung des Konverters auf Dolomit umgestellt und eine Anlage für die Kalkzugabe angeschafft werden musste. Fast alle deutschen Hüttenwerke nahmen daher Anfang der 1880er Jahre Versuche in stillgelegten Bessemer-Konvertern auf, um das neue Verfahren bewerten zu können oder Umgehungspatente anzumelden. Für Deutschland kauften auf Initiative von Gustave Léon Pastor und Josef Massenez die Rheinischen Stahlwerke sowie der Hörder Bergwerks- und Hütten-Verein gemeinsam die Patentrechte und lizenzierten sie an andere deutsche Hütten, vor allem aber an die Lothringer Hüttenwerke, die auf reichen phosphorhaltigen Minette-Vorkommen saßen.

4.3 Nachteile des Verfahrens

Das Windfrischen hat den metallurgischen Nachteil, dass zwangsläufig große Mengen an Stickstoff (Luft enthält etwa 78 % Stickstoff) und Wasserstoff im Stahl gelöst werden. Stickstoff bildet im Stahl mit Eisen und anderen Le-



Thomas-Birne, Detail



Thomas-Birne, Detail

gierungselementen harte, spröde Nitride, die den Stahl weniger zäh machen. Dazu kommt im Laufe der Jahre eine zusätzliche Stickstoffversprödung im Stahl.

Es wurden bevorzugt phosphorreiche Eisenerze im Thomaskonverter gefrischt. Phosphor ist ein Stahlbegleiter,

der die Zähigkeit, insbesondere bei tiefen Temperaturen, stark herabsetzt.

Thomasstähle gelten als schlecht schweißbar. Der hohe Wasserstoffgehalt begünstigt Kaltrisse, was bei Schweißarbeiten an alten Stahlkonstruktionen besonders zu berücksichtigen ist. Als vorbeugende Maßnahme werden beim Schweißen Zusatzwerkstoffe mit hoher Zähigkeit verwendet.

Mitte der 1970er Jahre wurde in der Bundesrepublik Deutschland, seit Anfang der 1980er Jahre in den meisten Ländern, die Produktion von Thomasstahl eingestellt und das Thomasverfahren selbst durch das Linz-Donawitz-Verfahren abgelöst.

4.4 Bekannte Schadensfälle

In den Fokus der Öffentlichkeit gerieten Thomasstahlprodukte noch einmal durch das Münsterländer Schneechaos, als im November 2005 bei außergewöhnlich starkem Schneefall und Sturm 82 Hochspannungsmasten unter der mehrfach erhöhten Eislast (ca. 18,9 kg/m) abknickten. Die Betreiber, vor allem die RWE, hielten die Masten jedoch nicht für erhöht spröbruchgefährdet. Die RWE argumentierte, dass bei dieser Naturkatastrophe nicht nur alte Masten aus Thomasstahl abknickten, sondern auch modernere Masten aus moderneren Werkstoffen. Nach einem Gutachten der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, das von der Bundesnetzagentur in Auftrag gegeben wurde, war die Schadensursache das gleichzeitige Auftreten von insgesamt acht Schadensauslösern:^[1]

1. starker Wind
2. sehr starker Schneefall
3. Temperaturen um den Gefrierpunkt
4. nasser und dadurch schwerer Schnee
5. einsetzender Regen
6. einseitige Belastung der Abspannfelder
7. Seitenwind
8. einzelne in sich drehbare Leiterseile

Insbesondere seien keinerlei Korrosionsstellen gefunden worden.

Thomasstahl wird zwar bereits seit Ende der 1960er-Jahre nicht mehr für Hochspannungsmasten verwendet, jedoch sind bis heute auch Masten aus Baujahren vor 1940 im Einsatz.

Im Juni 2006 sagten RWE-Vertreter im Wirtschaftsausschuss des Landtags NRW, sie wollten 28.000 (von 42.000) Masten reparieren bzw. ersetzen (bis 2015), 550

Millionen Euro in die Sanierung investieren und dabei vorrangig Masten in der Nähe von Wohngebieten und Straßen sanieren. Die NRW-Wirtschaftsministerin Christa Thoben drängte auf ein rascheres Handeln der RWE und kritisierte auch die Haltung des VDEW (Verband der Elektrizitätswirtschaft) und des VDN (Verband der Netzbetreiber).^[2]

Die Deutsche Bahn musste 2007 tausend Nahverkehrswagen (Typ Silberling, Baujahre 1960 bis 1965) stilllegen, weil deren Drehgestelle aus Thomasstahl gefertigt waren. Zudem waren 2007 noch über 6000 Kilometer Gleise – das entspricht etwa 18 Prozent des Streckennetzes – aus veralteten Schienen der Kategorie S 49, welche zum überwiegenden Teil aus Thomasstahl gefertigt sind. Diese Schienen tauscht die Bahn-Tochter DB Netz im Rahmen der regulären Erneuerungsprogramme in den nächsten Jahren sukzessive aus.

4.5 Siehe auch

- Stahlerzeugung

4.6 Weblinks

 **Commons: Thomas-Konverter** – Sammlung von Bildern, Videos und Audiodateien

- stahl-online.de (herausgegeben vom Stahlinstitut VdEh und der 'Wirtschaftsvereinigung Stahl): *Zweifel an Thomas-Stahl unbegründet* (PDF, Stand Juni 2006; 553 kB)

4.7 Quellen

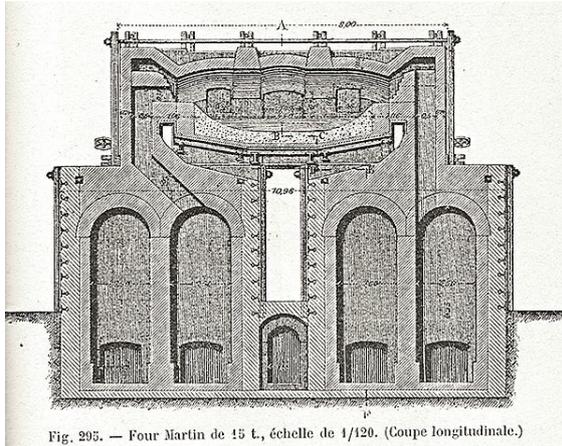
- Ulrich Wengenroth: *Unternehmensstrategien und technischer Fortschritt der dt u. brit. Stahlindustrie 1865–1895*. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen 1986, ISBN 3-525-36302-8, insbesondere Kapitel V.

4.8 Einzelnachweise

- [1] Bundesnetzagentur: *Untersuchungsbericht über die Versorgungsstörungen im Netzgebiet des RWE im Münsterland vom 25.11.2005*. vom Juni 2006 (abgerufen am 6. Mai 2011)
- [2] *Strommasten – Druck auf RWE*. In: *Rheinische Post*. 14. Juni 2006.

Kapitel 5

Siemens-Martin-Ofen



Ofen von 1895

Der **Siemens-Martin-Ofen** dient zur Reinigung von **Roheisen** mit dem Ziel der Gewinnung von **Stahl** und gehört zu den sogenannten **Herdfrischverfahren**. Der Begriff geht auf die Namen von **Friedrich** und **Wilhelm Siemens** sowie auf **Pierre-Émile Martin** und seinen Vater **Émile Martin** zurück.

5.1 Verfahrensweise

Das Siemens-Martin-Verfahren ist eine technische Weiterentwicklung der bis dahin bekannten Möglichkeiten der **Stahlerzeugung** in **Tiegelöfen**. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass die Temperatur im Ofen bis auf **1800 °C** gesteigert und flüssiger Stahl erzeugt wird. Als **Brennstoff** dient **Generatorgas** oder **Öl**. Das ursprüngliche Fassungsvermögen der Siemens-Martin-Öfen von unter **10 t Abstichmasse** wurde im Laufe der Entwicklung bei Flüssigeinsatz in den USA und Russland auf über **600 t** gesteigert.

Um aus im **Hochofen** gewonnenem **Roheisen** **Stahl** zu erzeugen, müssen die enthaltenen Begleitelemente (sog. „Eisenbegleiter“) wie **Kohlenstoff**, **Mangan**, **Silicium**, **Phosphor** und andere entfernt werden. Das geschieht durch das so genannte **Frühen**. Dabei werden die Begleitelemente oxidiert und entweichen entweder gasförmig (z. B. **CO₂**) oder schwimmen als **Schlacke** von festen

Oxiden auf dem flüssigen Stahl.

Beim **Siemens-Martin-Verfahren** wird der oxidative Effekt durch die Zugabe eines bestimmten Anteils an **Schrott**, **Roheisenerzen** oder **Kalk** erreicht, die **Sauerstoff** an die Schmelze abgeben. Dieser feste Einsatz wird in **Mulden** mittels **Chargiermaschinen** in den Herdofen eingebracht. Beim Flüssigeinsatz wird das **Roheisen** über eine Rinne in den Herdofen gekippt.

Üblicherweise wird der Herdofen meist mit der **Siemenschen Regenerativfeuerung** kombiniert, die in einer darunterliegenden Kammer untergebracht ist. Bei der Regenerativfeuerung werden in **Regenerationskammern** die gasförmigen **Brennstoffe** durch die **Abgase** aus dem Ofen vorgewärmt, um die nötige Temperatur von **1800 °C** zu erreichen. Auch die heißen **Flammgase** haben oxidative Wirkung und werden direkt in die Schmelze geleitet.

5.1.1 Technologischer Ablauf

Der Schmelzprozess gliedert sich in mehrere Abschnitte, die nicht streng zu trennen sind:

1. **Ofenpflege**: **Torkretieren** des Oberofens, **Ofenberäumung**, **Sauberhalten** der Gewölbe und **Vorderwände**, **Kontrolle** der Messtechnik (ca. 0,5 h)
2. **Einsetzen**: **Chargieren** der metallischen Einsätze und **Zusätze** für die **Schlackebildung** (ca. 2 h)
3. **Einschmelzen**: **Verflüssigen** des Einsatzes (ca. 3,5 h)
4. **Fertigmachen**: **Arbeit** zur **Einstellung** der **Abstichanalyse** und **Abstichtemperatur** (ca. 1,5 h)
5. **Desoxydieren** und **Legieren**
6. **Abstich** bei Erreichen der erforderlichen **Temperatur** und **Analyse** (ca. 6 - 17 min)

Gesamtzeit ca. 8 h

Unmittelbar nach dem **Abstich** wird der flüssige **Stahl** in **Kokillen** vergossen. Nach dem Erstarren werden die **Blöcke/Brammen** zur Weiterverarbeitung ins **Walzwerk** transportiert.

5.1.2 Aufbau eines Siemens-Martin-Ofens

Der Siemens-Martin-Ofen besteht aus Ober- und Unterofen.

Der Oberofen ist der Schmelz- bzw. Herdraum, in dem der metallische Einsatz (Schrott) eingeschmolzen wird. Einzelteile des Oberofens sind der Herd, das Gewölbe, die Vorder- und Rückwand, Köpfe und die Abstichrinne. Neben der Stahlkonstruktion besteht der Ofen vorwiegend aus feuerfestem Material. Brennerköpfe mit Gas- und Luftzügen dienen zur Beheizung/Einschmelzen des Rohmaterials. Die Beschickung erfolgt mit einem Chargierkran auf der Ofenbühne.

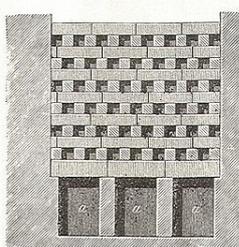


Fig. 27. — Empilages des régénérateurs.

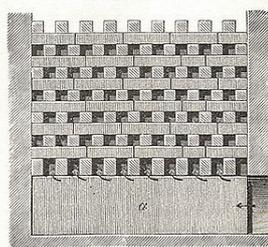


Fig. 28. — Empilages des régénérateurs.

Regenerativkammern

Im Unterofen befinden sich die Schlacke- und Regenerativkammern. In den Schlackekammern werden die Staub- und Schlacketeilchen aufgenommen. In den Regenerativkammern wird durch die Ausnutzung der Abgaswärme die Verbrennungsluft bzw. das Generatorgas vorgewärmt. Die Kammern sind mit einer Gitterung aus feuerfestem Material ausgemauert.

Vorteil: Durch die Regenerativfeuerung wird die in den Abgasen enthaltene Energie zum Vorwärmen der Heizgase und der Luft genutzt, hierzu ist ein periodisches Umschalten der Kammern in 8 bis 20 Minuten-Abständen notwendig. Die Steuerung/Umschaltung erfolgt vom Steuerstand aus. Unterofen und Kamin sind durch Kanäle verbunden.

5.2 Geschichte

Im Jahre 1856 hatte **Friedrich Siemens** ein Patent auf seine Erfindung des Regenerativofens angemeldet. Dieser neue Ofen basierte auf einem System zur Erzeugung höchster Temperaturen durch Vorwärmen von Gas und Luft. **Wilhelm Siemens** experimentierte damit schon mehrere Jahre. So bedeutend diese Erfindung auch war, gelang es den Siemens-Brüdern zunächst nicht, flüssigen Stahl herzustellen, weil bei den erreichten Temperaturen von 1600 °C auch die Ausmauerung des Ofens schmolz. Friedrich Siemens wendete das Verfahren des Regenerativofens erfolgreich bei der Herstellung von Glas an und wurde damit größter Glashersteller Europas.

In Frankreich wurden die Experten für Verhüttung **Émile**

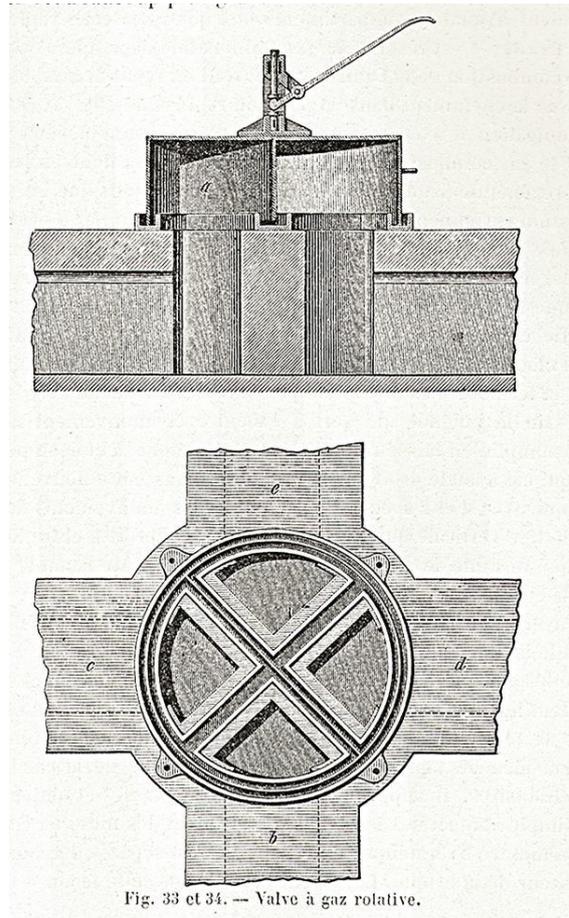


Fig. 33 et 34. — Valve à gaz rotative.

Umschalter der Gasführung

Martin und **Pierre-Émile Martin** (Vater und Sohn) auf die großen Vorteile des Regenerativofens aufmerksam und erwarben von **Wilhelm Siemens** Zeichnung und Lizenz zum Betreiben des Ofens. Den Martins gelang der Durchbruch bei der Anwendung, weil sie temperaturbeständigere Steine für die Ofenzustellung verwendeten. Das Verfahren zur Stahlerzeugung im sauren, regenerativ gefeuerten Flammofen war geboren.

1867 auf der **Weltausstellung** erhielten die Martins für ihren hervorragenden Stahl und die Gebrüder Siemens für den Ofen höchste Auszeichnungen.

Das Siemens-Martin-Verfahren war über 100 Jahre eine der bedeutendsten Techniken für die Stahlherstellung. Die wirtschaftliche Bedeutung des Siemens-Martin-Verfahrens liegt in der Besonderheit des hohen Schrotteinsatzes.

Die Ära der Siemens-Martin-Stahl-Erzeugung begann am 8. April 1864 in dem französischen Ort Sireuil. Der erste Siemens-Martin-Ofen im deutschsprachigen Raum wurde 1868 im österreichischen **Kapfenberg** erbaut. In Deutschland gingen die ersten Siemens-Martin-Öfen 1869 in Essen bei **Alfred Krupp** und in Berlin in Betrieb; etwa zur gleichen Zeit in England, Schweden, Italien und auch in Nordamerika. Zu Beginn des 20. Jahrhun-

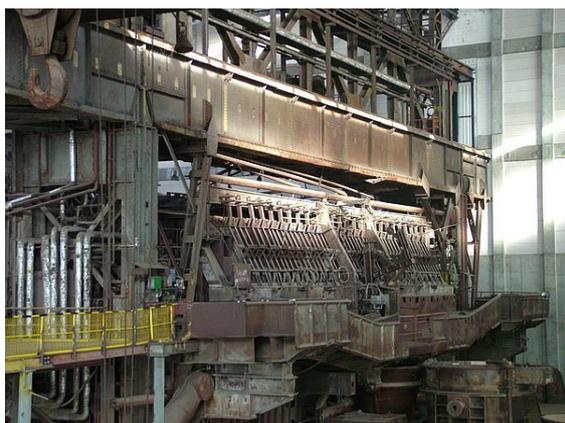
derts waren die Entwicklungs- und Anfangsschwierigkeiten überwunden.

Ab 1915 stieg der Anteil des Siemens-Martin-Stahls in Deutschland auf über 50 %: Ende der 1940er Jahre waren es weltweit bereits 75 %. Im Jahre 1965 wurde die höchste Produktion im Weltmaßstab mit 278 Millionen Tonnen erreicht. Danach gingen die Produktionszahlen stark zurück.

1985 war der Anteil an Siemens-Martin-Stahl in Westeuropa schon nicht mehr nennenswert und nur noch in Osteuropa und China bedeutend.

In Westeuropa wurde das *Siemens-Martin-Verfahren* seit den 1960er Jahren weitgehend durch das Sauerstoffblasverfahren, sowie seit Ende der 1980er Jahre durch das Elektrostahlverfahren, abgelöst. In den USA, China und Russland wird das Verfahren noch vereinzelt angewandt.

5.2.1 Der letzte Siemens-Martin-Ofen in Westeuropa



Siemens-Martin-Ofen XII, 2006

Der letzte Siemens-Martin-Ofen in Westeuropa befindet sich im Industriemuseum Brandenburg an der Havel.

Er wurde als Siemens-Martin-Ofen XII am 12. Oktober 1967 vom VEB Stahl- und Walzwerk Brandenburg in Betrieb genommen. Ursprünglich als Versuchsofen konzipiert, sollten mit ihm Spitzenergebnisse erreicht werden. Der Forschungsauftrag hierzu lautete: "Die neuen Konstruktionselemente und Technologien bis zur Produktionsreife zu erproben und optimale Leistungs- und Ergebniskennziffern zu erreichen, die dem Weltstand bei vollölbeheizten SM-Öfen unter den Bedingungen des festen Einsatzes und der Sauerstoffanwendung entsprechen". Die Ergebnisse sollten für die Modernisierung aller Brandenburger SM-Öfen genutzt werden. Eine Besonderheit war von Anfang an, dass Ofen XII mit einem Blechkamin betrieben wurde. 1968 wurde der Ofen jedoch als Nr. XII zur Erfüllung der Planaufgaben genutzt und damit seine Aufgabe als Versuchsofen behindert. Es zeichne-

te sich ab, dass der Ofen die geplanten Parameter vor allem bei der Ofenleistung, beim Wärmeverbrauch, bei der Ofenhaltbarkeit und bei den Reparaturzeiten nicht erreichen würde; an der Entwicklung des Ofens wurde deshalb weiter gearbeitet. Da die vorgegebenen staatlichen Planaufgaben für das Stahlwerk nicht erreicht wurden, begann 1970 eine umfassende Rekonstruktion. Angefangen wurde mit dem Ofen XII. 1975 waren alle zwölf Öfen im Stahl- und Walzwerk umgebaut.

Im Herbst 1990 wurde mit dem Rückbau der Siemens-Martin-Öfen im Stahlwerk Brandenburg begonnen, bevor das Werk mit dem letzten Abstich am 13. Dezember 1993 stillgelegt wurde.

Konstruktionsmerkmale und die wesentlichen Veränderungen

- Oberofen mit Hängestützkonstruktion in Segmentbauweise nach dem **Maerz-Boehlens-Prinzip**
- Einführung der großen, zweiteiligen Schlackewagen
- Luftführung für die Oberofenkühlung in der Stahlkonstruktion
- Vergrößerung der Herdfläche auf 83 m²
- Entwicklung einer Herdwannenbaureihe
- Einbau der nebeneinander liegenden zweistufigen Regenerativkammern
- Moderne Abgasschieber
- Vollölbeheizung

5.3 Weblinks

- Siemens-Martin-Ofen XII im Industriemuseum Brandenburg
- Siemens-Martin-Werk auf www.technikatlas.de

5.4 Text- und Bildquellen, Autoren und Lizenzen

5.4.1 Text

- **Kupolofen** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/wiki/Kupolofen?oldid=116999272> *Autoren:* Aka, Reinhard Kraasch, Janka, Sinn, Thorsten1, 1-1111, Onkelkoeln, RedBot, Steffen85, JuTa, Fefi, STBR, Usien, Statler, BJ Axel, Ralo, Tetris L, Don Magnifico, Ordnung, Ratkovic, SieBot, Heunisch, DanBot, Dorieo, Borvan53, Julez A., Obersachsebot, ArthurBot, Hystereser, DixonDBot, WikitanvirBot, Addbot und Anonyme: 17
- **Puddelverfahren** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/wiki/Puddelverfahren?oldid=137337227> *Autoren:* Reinhard Kraasch, Zwobot, Markus Schweiß, RokerHRO, Sinn, Okatjerute, Chigliak, Ahellwig, Pfalzfrank, Thorsten1, AHZ, Soulman, ProfessorX, VanGore, Callimachos, WikipediaMaster, Rosenzweig, Kh80, UlrichJ, Philipp Basler, Florian Huber, Ra'ike, Felix Stember, STBR, Nockel12, Gundolf von Mauretanien, Andy king50, Wuselig, Viktor82, SpBot, Shadak, Korinth, Helfmann, Dieter Weißbach, Roo1812, Thijs!bot, S.Didam, El., Cholo Aleman, Horst Gräbner, Noddy93, Vertigo21, YourEyesOnly, Sebbot, Baumfreund-FFM, Don Magnifico, Ulamm, Gemini1980, Complex, VolkovBot, Regi51, Bojo, AlleborgoBot, OecherAlemanne, Krawi, Grenzdebiler, Tuboletti, Jón, Avoided, The pyr o man, Pittimann, Re probst, Eingangskontrolle, Alexbot, Xqbot, AHert, Aleksandro, Nameless23, Andreas aus Hamburg in Berlin, Adsp, Reinhardhauke, Kopiersperre, Serols, Geonohl, Tasmer, Ver-bot, EmausBot, Flowris, ZéroBot, WikitanvirBot, Piggy2007, Andol, KLBot2, Ohrwuzler, BlueFire10, BuschBohne, IluvatarBot, Binse, Dexbot, Lektor w, Der-Wir-Ing, HeicoH, WordyBoy und Anonyme: 38
- **Bessemerbirne** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/wiki/Bessemerbirne?oldid=138052457> *Autoren:* Herrick, ArtMechanic, Markus Schweiß, Svench, Asdert, Matthias Bock, BerndB, LoKiLeCh, Macador, Scooter, Hans Koberger, RobotQuistnix, YurikBot, Bukk, Logograph, Naclador, Feba, Spuk968, Thijs!bot, Les Meloures, Seidusebst, Diwas, Axel1963, VolkovBot, TXiKiBoT, Rei-bot, LutzBruno, 44Pingui-ne, VVVBot, S.lukas, Rotkaeppchen68, Gary Dee, The pyr o man, Alecs.bot, Inkowik, NjardarBot, LaaknorBot, MystBot, Luckas-bot, GrouchoBot, Xqbot, ArthurBot, AHert, Udufruduhu, Rr2000, LucienBOT, DixonDBot, Rilegator, Alraunenstern, EmausBot, StaNi 1, JackieBot, VonMythenmetz, KLBot2, Dexbot, YFdyh-bot und Anonyme: 20
- **Thomas-Verfahren** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/wiki/Thomas-Verfahren?oldid=138124915> *Autoren:* Steffen, ErikDunsing, Tsor, Veinsworld, Markus Schweiß, Michi cc, Wiegels, Alkuin, Tbachner, Aristeas, NewJoker, Phantom62, Meister, Elwe, PeeCee, V-Li, Ralf Pfeifer, Pjacobi, Redf0x, MarkusHagenlocher, WikipediaMaster, BitterMan, Tom Knox, Zahnstein, Hubertl, Mbdortmund, Gamba, Vertigo Man-iac, Efriese, Ephraim33, Krokofant, San Andreas, Frank C. Müller, Video2005, Nightflyer, Leit, Invisigoth67, Pendulin, Semper, Der Hammer, YourEyesOnly, Supermartl, Baumfreund-FFM, Grand-Duc, Bildungsbürger, Don Magnifico, Gemini1980, Cschirp, Léa357, SieBot, Hg6996, The pyr o man, Juhuh2, Hodiko, ArthurMcGill, ToFei, Roland Goossens, Borvan53, Pflastertreter, Tfjt, MorbZ-Bot, Vorauslöscher, ZéroBot, Neun-x, Blatand, RonMeier, WikitanvirBot, -WolliWolli-, VonMythenmetz, KLBot2, Dexbot, Holger1959, YFdyh-bot, Natsu Dragoneel und Anonyme: 30
- **Siemens-Martin-Ofen** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/wiki/Siemens-Martin-Ofen?oldid=138052447> *Autoren:* DF5GO, Sansculotte, Zwobot, Wiegels, Zinnmann, RokerHRO, Robbit, Uwca, P. Birken, Raffzahn, Jarling, MarkusHagenlocher, UPH, Schwalbe, JAF, Rosa Lux, Popie, Flominator, Curtis Newton, Havelseher, Manorainjan, Clemensfranz, Kolossos, JN, Der.Tobi, Noisy, RobotQuistnix, Hoeschi72, Kirschblut, L3nnox, Andreas Garger, SpBot, Th1979, AxelHH, Tetris L, Spuk968, El., Ussschrotti, JAnDbot, Zollernalb, Axel1963, DodekBot, VolkovBot, Hans Chr. R., AlleborgoBot, Loveless, Mailtosap, Tasma3197, Oceancetaceen, Pittimann, DragonBot, Laaknor-Bot, Luckas-bot, Dorieo, Xqbot, ArthurBot, TobeBot, Rilegator, Ripchip Bot, Kryptolog, EmausBot, Flyingfischer, Rezabot, MerllwBot, KLBot2, Justincheng12345-bot, Dexbot und Anonyme: 17

5.4.2 Bilder

- **Datei:A_scene_in_a_steel_mill,_Republic_Steel,_Youngstown,_Ohio.jpg** *Quelle:* http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/22/A_scene_in_a_steel_mill%2C_Republic_Steel%2C_Youngstown%2C_Ohio.jpg *Lizenz:* Public domain *Autoren:* Dieses Bild ist unter der digitalen ID fsac.1a35052 in der Abteilung für Drucke und Fotografien der US-amerikanischen Library of Congress abrufbar. Diese Markierung zeigt nicht den Urheberrechtsstatus des zugehörigen Werks an. Es ist in jedem Falle zusätzlich eine normale Lizenzvorlage erforderlich. Siehe Commons:Lizenzen für weitere Informationen. *Originalkünstler:* Alfred T. Palmer
- **Datei:Bessemer_Converter_Sheffield.jpg** *Quelle:* http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7c/Bessemer_Converter_Sheffield.jpg *Lizenz:* CC BY 2.5 *Autoren:* ? *Originalkünstler:* ?
- **Datei:Bessemer_converter_Blowing.jpg** *Quelle:* http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/eb/Bessemer_converter_Blowing.jpg *Lizenz:* Public domain *Autoren:* California Digital Library *Originalkünstler:* Borvan53
- **Datei:Bessemeranlage.jpg** *Quelle:* <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d3/Bessemeranlage.jpg> *Lizenz:* Public domain *Autoren:* Meyers Konversations-Lexikon, 6. Auflage von 1902–1908 images.zeno.org/Meyers-1905 - 32. Bessemeranlage *Originalkünstler:* Unbekannt
- **Datei:Bessemerbirne.jpg** *Quelle:* <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3b/Bessemerbirne.jpg> *Lizenz:* Public domain *Autoren:* Meyers Konversations-Lexikon, 6. Auflage von 1902–1908 images.zeno.org/Meyers-1905 - 31. Bessemerbirne *Originalkünstler:* Unbekannt
- **Datei:Commons-logo.svg** *Quelle:* <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4a/Commons-logo.svg> *Lizenz:* Public domain *Autoren:* This version created by Pumbaa, using a proper partial circle and SVG geometry features. (Former versions used to be slightly warped.) *Originalkünstler:* SVG version was created by User:Grunt and cleaned up by 3247, based on the earlier PNG version, created by Reidab.
- **Datei:Four_puddler_t2p370.jpg** *Quelle:* http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/98/Four_puddler_t2p370.jpg *Lizenz:* Public domain *Autoren:* ? *Originalkünstler:* ?
- **Datei:Hoerder-Burg-IMG_0158.JPG** *Quelle:* http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9e/Hoerder-Burg-IMG_0158.JPG *Lizenz:* CC-BY-SA-3.0 *Autoren:* Eigenes Werk *Originalkünstler:* Mathias Bigge
- **Datei:Kupolofen.jpg** *Quelle:* <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d7/Kupolofen.jpg> *Lizenz:* CC-BY-SA-3.0 *Autoren:* Transferred from de.wikipedia; transferred to Commons by User:Ra'ike using CommonsHelper. *Originalkünstler:* Felix Brinckmann (Fefi)

- **Datei:Kupolofen_Heunisch.jpg** *Quelle:* http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4e/Kupolofen_Heunisch.jpg *Lizenz:* CC BY-SA 2.0 de *Autoren:* Transferred from de.wikipedia; transferred to Commons by User:Wdwd using CommonsHelper. *Originalkünstler:* Giesserei Heunisch. Original uploader was Heunisch at de.wikipedia
- **Datei:Meyers_Konversationslexikons_logo.svg** *Quelle:* http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c1/Meyers_Konversationslexikons_logo.svg *Lizenz:* Public domain *Autoren:* Eigenes Werk, uses vectorized version of file:Meyers_b6_s0052.jpg as background *Originalkünstler:* User:DieBuche
- **Datei:Puddler.jpg** *Quelle:* <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3e/Puddler.jpg> *Lizenz:* Public domain *Autoren:* <http://memory.loc.gov/master/pnp/cph/3b20000/3b24000/3b24600/3b24674u.tif> *Originalkünstler:* National Photo Company Collection, Library of Congress. Formerly LOT 11509-510. Digital ID: cph 3b24674. Control number: 2002695622.
- **Datei:Puddling_furnace.jpg** *Quelle:* http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/51/Puddling_furnace.jpg *Lizenz:* Public domain *Autoren:* ? *Originalkünstler:* ?
- **Datei:Qsicon_Ueberarbeiten.svg** *Quelle:* http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/92/Qsicon_Ueberarbeiten.svg *Lizenz:* CC BY-SA 3.0 *Autoren:* File:Qsicon Ueberarbeiten.png *Originalkünstler:* User:Niabot
- **Datei:Regenerateur_siemens_nb.jpg** *Quelle:* http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/61/Regenerateur_siemens_nb.jpg *Lizenz:* Public domain *Autoren:* ? *Originalkünstler:* ?
- **Datei:Siemens_Martin_Ofen_Brandenburg.jpg** *Quelle:* http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1f/Siemens_Martin_Ofen_Brandenburg.jpg *Lizenz:* CC BY 2.5 *Autoren:* ? *Originalkünstler:* ?
- **Datei:Siemensmartin12nb.jpg** *Quelle:* <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/59/Siemensmartin12nb.jpg> *Lizenz:* Public domain *Autoren:* ? *Originalkünstler:* ?
- **Datei:Siemensvanne_nb.jpg** *Quelle:* http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6a/Siemensvanne_nb.jpg *Lizenz:* Public domain *Autoren:* ? *Originalkünstler:* ?
- **Datei:Thomas-Konverter-IMG_0152.JPG** *Quelle:* http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a3/Thomas-Konverter-IMG_0152.JPG *Lizenz:* CC-BY-SA-3.0 *Autoren:* Eigenes Werk *Originalkünstler:* Mathias Bigge
- **Datei:Thomas-birne.jpg** *Quelle:* <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4e/Thomas-birne.jpg> *Lizenz:* Public domain *Autoren:* Selbst fotografiert *Originalkünstler:* Tbachner

5.4.3 Inhaltslizenz

- Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0