

2. Roheisenerzeugung

2.1. Rohstoffe und Erzaufbereitung

2.1.1. Eisenerze und Erzvorkommen

Eisen kommt in der Erdkruste nicht als reines Element vor, sondern nur in chemischen Verbindungen, meist als Oxid, Hydroxid oder Karbonat. Diese gesteinsartigen oder erdigen Verbindungen nennt man Eisenerze. Der Eisengehalt der Erze kann bis zu 70 Masse-% betragen (heimisches Erz hat rund 30 Masse-% Fe).

Eisenerz	Chem. Formel	Fe-Gehalt in Masse-%	Vorkommen
Magnetit	Fe_3O_4	60 ... 70 %	USA, Ukraine, Schweden
Hämatit	Fe_2O_3	40 ... 60 %	Brasilien, Venezuela, Australien
Siderit	$\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	30 ... 50 %	Brasilien, Australien
Malachit	FeCO_3	30 ... 45 %	Österreich

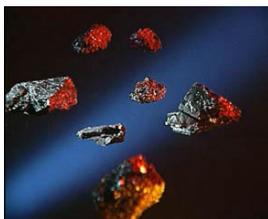
Eisenerze enthalten noch Beimengungen (SiO_2 , CaO , MgO , Al_2O_3 , MnO , K_2O , P, S), die man als Gangart bezeichnet.

Eisenerze und Erzvorkommen

- Was wird als Eisenerz bezeichnet?
- Wo wird Eisenerz abgebaut und mit welchem Eisengehalt kommt es vor?
- Was versteht man unter dem Begriff „Gangart“?

2.1.2. Erzaufbereitung

Zur Verarbeitung im Hochofen bzw. in Schmelz- oder Direktreduktionsanlagen muss das Erz eine bestimmte Korngröße besitzen. Daher wird es in der Erzaufbereitungsanlage durch Brechen, Mahlen, Flotieren, Sintern und Pelletieren stückig gemacht.



Groberze werden zerkleinert:
d. h. sie werden zu Stückerz mit 6 mm bis 30 mm Größe gebrochen.

Feinerze werden gesintert:
Feinerze (0,1–6mm) werden in Mischbetten mit Hüttenkreislaufstoffen (Hochofen- und Stahlwerksstäube, Walzzunder, usw.) sowie Zuschlägen (Koks, Kalk, usw.) homogenisiert. Anschließend wird das Mischgut mit Brennstoffen versetzt und dem Sinterprozess am Sinterband zugeführt. Bei ca. 1.300 °C verbinden sich die Erzkörner zu einem porigen Sinterkuchen. Daraufhin wird der Sinter gekühlt und auf eine Korngröße von 6–30 mm gebrochen.

Feinsterze werden pelletiert:
Feinsterze ($\leq 0,1$ mm) werden mit Bindemitteln zu kleinen Kugeln mit 10 mm bis 20 mm Durchmesser geformt (pelletiert) und danach gebrannt.

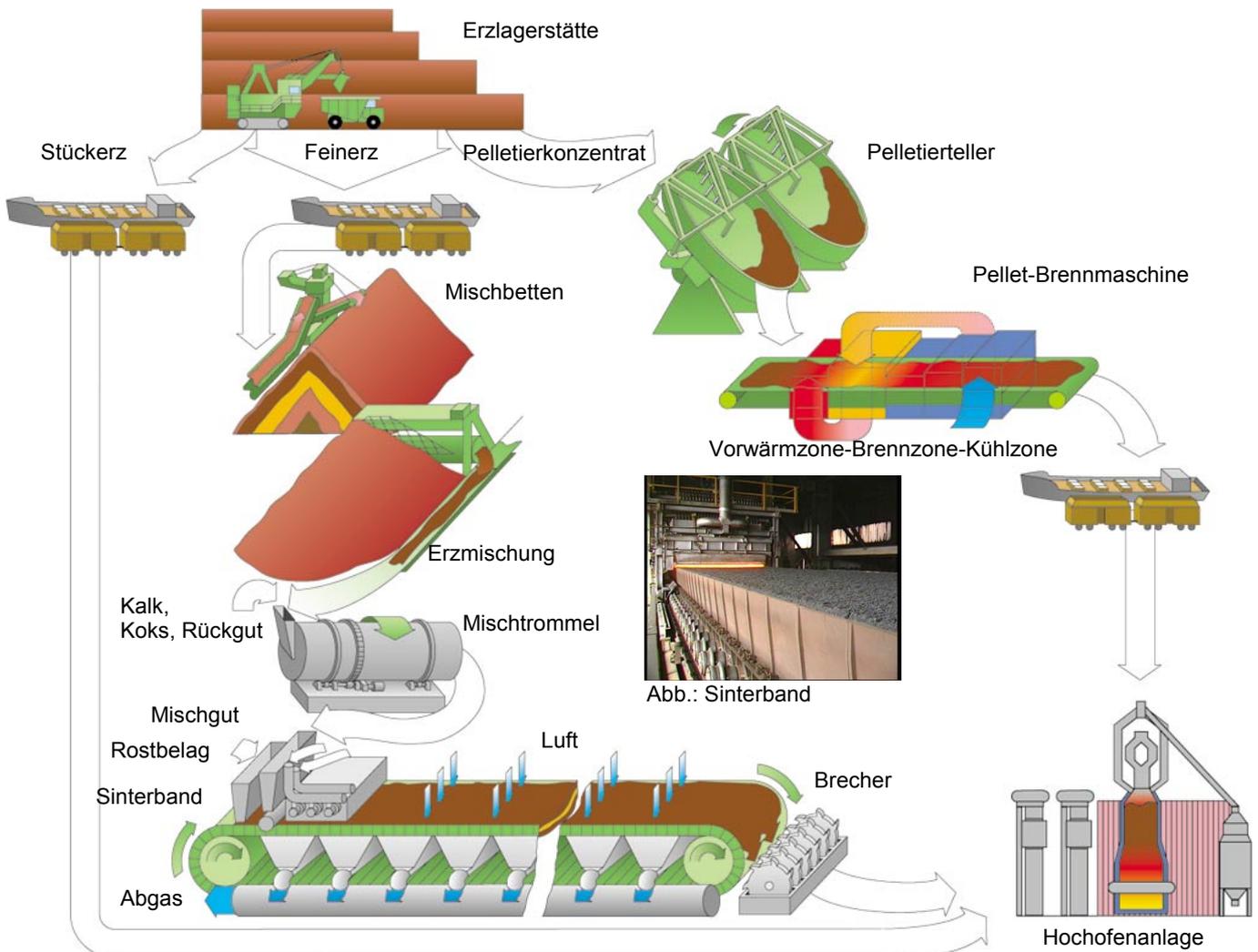


Abb.: Verfahren zur Erzaufbereitung (Sintern, Pelletieren)



Abb.: AIRFINE-Anlage

In der Sinteranlage der VOEST-ALPINE STAHL LINZ werden jährlich rund 2 Millionen Tonnen Sinter hergestellt. Zum Schutz der Umwelt werden die beim Sintern entstehenden Emissionen durch ein nasses Feinabscheidesystem (AIRFINE) reduziert. Mit dieser völlig neu entwickelten Technologie werden die Partikel mit Größen weit unter einem Tausendstelmillimeter aus den Abgasen ausgeschieden. Damit wird eine Staubkonzentration von deutlich weniger als 50 Milligramm pro Kubikmeter erreicht.

Das aufbereitete Eisenerz wird überwiegend im Hochofen zu flüssigem Roheisen umgewandelt, ein kleiner Teil wird in Schmelzreduktionsanlagen (z. B. COREX) eingesetzt. Daneben wird an einigen Standorten durch Direktreduktion aus dem Erz fester Eisenschwamm gewonnen.

Erzaufbereitung

- Was versteht man unter „Sintern“?
- Was versteht man unter „Pelletieren“?

2.2. Kokerei

In der Kokerei wird eine Mischung spezieller Kohlen in Koks-kammern unter Luftabschluss auf über 1000 °C erhitzt. Durch diesen Prozess werden „flüchtige Bestandteile“ der Kohlen ausgetrieben. Der reine Koks wird aus der Kammer gedrückt und mit Wasser abgekühlt. Die flüchtigen Bestandteile der Kohlen werden gesammelt, gereinigt und zu 100 % als Heizgas (Heizwert $H_u = 5000 \text{ Wh/Nm}^3$) verwendet.

Bei der Reinigung des Koksgases werden Benzol, Schwefel-säure und Teer für die chemische Industrie gewonnen.

In der einzigen Kokerei Österreichs, jener der VOEST-ALPINE STAHL LINZ, werden jährlich aus rund 1,9 Millionen Tonnen Kohle ca. 1,4 Millionen Tonnen Koks hergestellt. Zum Schutz der Umwelt wird der bei der Überleitung in den Löschwagen anfallende Staub abgesaugt, gesammelt und im Kreislauf dem Verkokungsprozess wieder zugeführt. Die Linzer Kokerei gilt durch zahlreiche Modernisierungsmaßnahmen heute in Sachen Umweltschutz als einer der Vorzeigebetriebe Europas.



Abb.: Koksüberleitmaschine mit Absaugung

Kokerei

- Welche Produkte werden in der Kokerei erzeugt?
- Was ist das Prinzip der Verkokung der Kohlen?

2.3. Roheisenerzeugung im Hochofen

Das Roheisen ist der wichtigste Eisenträger für die Rohstahlerzeugung im Blas-Stahlverfahren (LD-Prozess). Dafür werden weltweit ca. 540 Mio. Tonnen Roheisen benötigt, die vorwiegend im Hochofen erschmolzen werden.

2.3.1. Der Hochofen

Der Hochofen ist ein etwa 30 m hoher Schachtofen mit kreisförmigem Querschnitt. Samt Aufbauten kann er über 100 m Höhe erreichen. Der ganze Hochofen ist von einem Stahlpanzer umgeben und mit einer 50 cm bis 1,20 m starken feuerfesten Auskleidung versehen. Im Schacht ist er mit Schamottesteinen, im Gestell mit Kohlenstoffsteinen ausgekleidet.

Ein Hochofen bleibt bis zu 15 Jahre in Betrieb und wird dann neu ausgemauert („zugestellt“). Um diese hohen Haltbarkeitszeiten zu erreichen, muss der Hochofen gekühlt werden.

Der Hochofenprozess arbeitet nach dem sogenannten „Gegenstromprinzip“. An der Gicht werden **Koks** (als Reduktionsmittel) sowie **Stückerz**, **Sinter** oder **Pellets** (als Eisenträger) schichtweise eingefüllt. Fallweise werden auch Zuschläge wie z. B. Kalkstein zugesetzt. Die Zuschläge schmelzen im heißen Hochofenteil zur Schlacke und nehmen die Gangart auf.

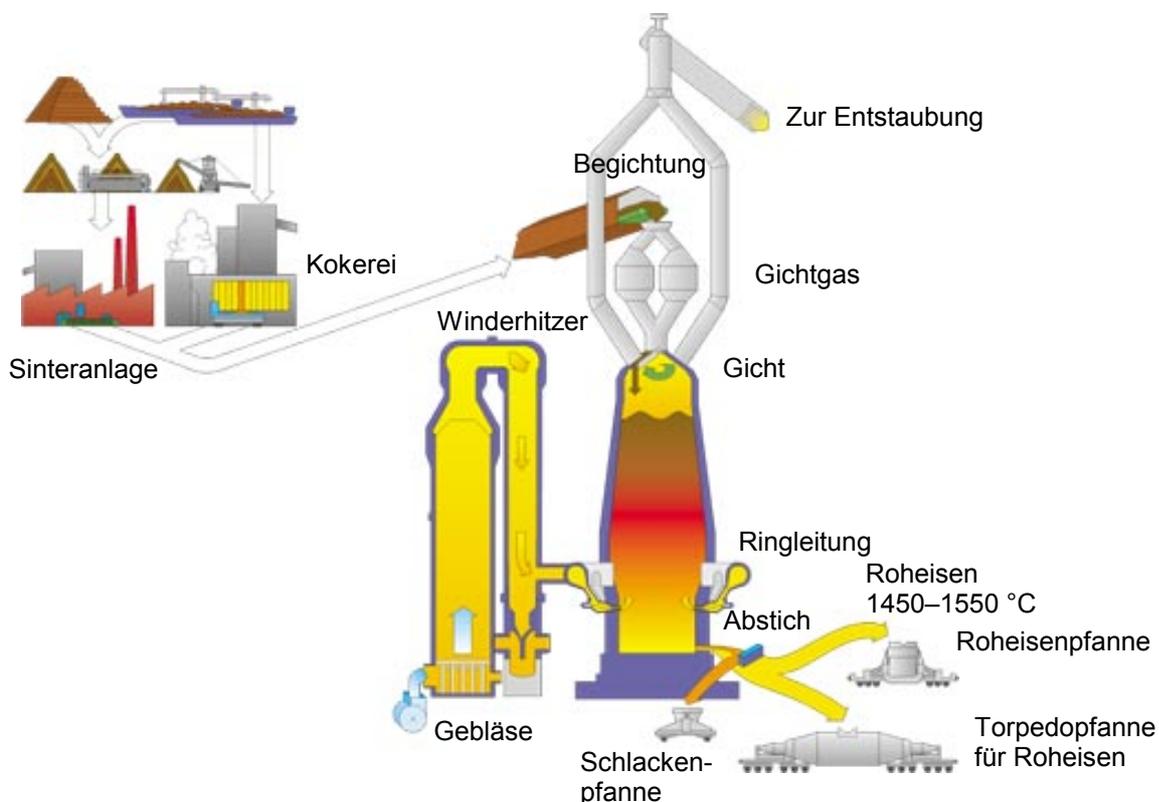


Abb.: Schema eines Hochofens

Diese „Beschickung“ wandert von oben nach unten durch den Hochofenschacht und erfährt dabei eine Reihe von chemischen und physikalischen Reaktionen, wobei die Temperatur ständig zunimmt.

Entgegen der Bewegungsrichtung der Beschickung bewegt sich die Gasphase von unten nach oben durch den Schacht. Über Düsen („Formen“), die von einer Ringleitung gespeist werden, wird heiße Luft („Wind“) mit einer Temperatur von 1200 °C in den Ofen eingeblasen. Der Sauerstoff der Luft verbrennt den Kohlenstoff (Koks), was zu einem intensiven Heizprozess führt. Dem nach bestimmten Reaktionen entstehenden und im Ofen aufsteigenden Gas kommen im Wesentlichen zwei Funktionen zu:

- die Wärme des Gases wird auf die Beschickung übertragen und heizt diese dadurch so weit auf, dass die Stoffe schmelzen.

- das Gas tritt mit der Beschickung in chemische Wechselwirkung, wobei das vorhandene Kohlenmonoxid das Eisen aus seiner oxidischen Bindung freisetzt, d. h. reduziert.

An der Reduktion der Eisenoxide beteiligen sich auch der Kohlenstoff des Kokes sowie der geringe Wasserstoffanteil des Gases.

Die chemischen und physikalischen Reaktionen im Hochofen führen zu drei **Produkten**:

- flüssiges Roheisen
- flüssige Schlacke
- Gichtgas

In der Schmelzzone des Hochofens bilden sich Schlacken- und Metallphasen, die in den unteren Bereich des Hochofens (das Gestell) abfließen. Das flüssige Roheisen sammelt sich im Gestell und die flüssige Schlacke schwimmt darauf. In periodischen Abständen von ca. 2 Stunden wird das Abstichloch im Gestell geöffnet und Roheisen und Schlacke fließen heraus. Diesen Vorgang nennt man „Abstich“. Roheisen und Schlacke werden in speziellen Gefäßen (Pfannen) abtransportiert.

Das Roheisen wird im Stahlwerk verarbeitet. Roheisen hat etwa folgende Zusammensetzung (in Masse-%):

C = 4,5 %, Si = 0,5 %, Mn = 0,5 - 0,8 %, P = 0,06 %, S = 0,05 % - 0,08 %

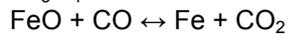
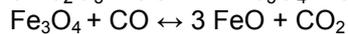
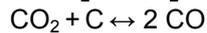
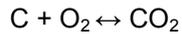
Die Schlacke (rund 250–300kg pro Tonne Roheisen) wird größtenteils mit Wasser granuliert und als Hüttensand zur Zementherstellung verwendet. Es gibt auch Stückschlacke, die nach Erstarrung in einem Kühlbett gebrochen und als Baumaterial eingesetzt wird. Die Schlacke ist ein wertvolles Produkt, das zu 100 % verwendet wird.

Das Gichtgas wird vorerst entstaubt und dann entweder in den Winderhitzern zum Vorwärmen der Luft oder extern als Brennstoff verwendet.

2.3.2. Die chemischen Vorgänge im Hochofen

Indirekte Reduktion durch CO-Gas

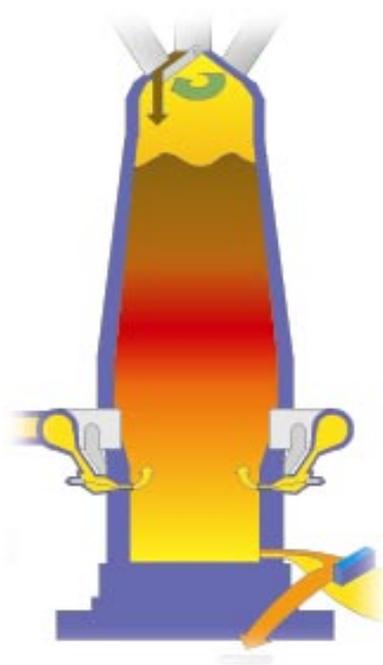
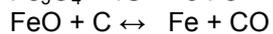
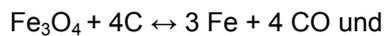
Im Hochofen verbrennt der Koks mit Heißluft (Wind mit ca. 1200 °C) vor den mit Wasser gekühlten Blasformen zu Kohlendioxid, CO₂, das durch den im Überschuss vorhandenen Koks zu Kohlenmonoxid, CO, reduziert wird. Durch dieses CO werden im Schacht unter Erzeugung von Kohlendioxid 40 bis 70 % der Eisenoxide reduziert.



Dieser Vorgang wird als **indirekte Reduktion** bezeichnet, da der Abbau (Entfernung) des Sauerstoffs nicht direkt durch den Kohlenstoff, sondern durch Kohlenmonoxid geschieht.

Direkte Reduktion durch glühenden Koks

In der direkten Reduktionszone entzieht der Kohlenstoff dem Eisenoxid den Sauerstoff.



400 °C
Vorwärmzone

800 °C
Indirekte Reduktionszone

1000 °C
Direkte Reduktionszone

1300 °C
Schmelzzone

1600 °C
Verbrennungszone

Chemische Vorgänge im Hochofen

- Was versteht man unter „indirekter Reduktion“?
- Was versteht man unter „direkter Reduktion“?

2.4. COREX-Verfahren

Mit diesem Verfahren werden derzeit weltweit rund 3 Millionen Tonnen Roheisen pro Jahr erzeugt.

Ein wesentliches Merkmal des COREX-Verfahrens ist im Vergleich zum Hochofen die Aufteilung des Verfahrensablaufes auf zwei Reaktoren (siehe Fließschema):

- Reduktion von Eisenerz in einem Reduktionsschacht
- Erzeugung von Reduktionsgas und Einschmelzen von Eisenschwamm in einem Einschmelzvergaser

Die Kohle wird aus einem Vorratsbunker in den Einschmelzvergaser gebracht. Im Vergaserkopf kommt die Kohle mit einem ca. 1100 °C heißen Gas in Kontakt, sodass sie vollständig getrocknet und entgast (= verkocht) wird. Die Kohlestücke werden dadurch zu Koks umgesetzt. Dieser Koks wird durch Sauerstoff vergast, der über Düsen eingeblasen wird.

Der Sauerstoff reagiert mit Koks zunächst zu CO_2 , welches mit Koks zu CO umgesetzt wird. Dieses Reduktionsgas (ca. 95 Vol.-% CO und H_2 ca. 2 Vol.-% CO_2 etwas Methan und Stickstoff) verlässt den Einschmelzvergaser am Kopf.

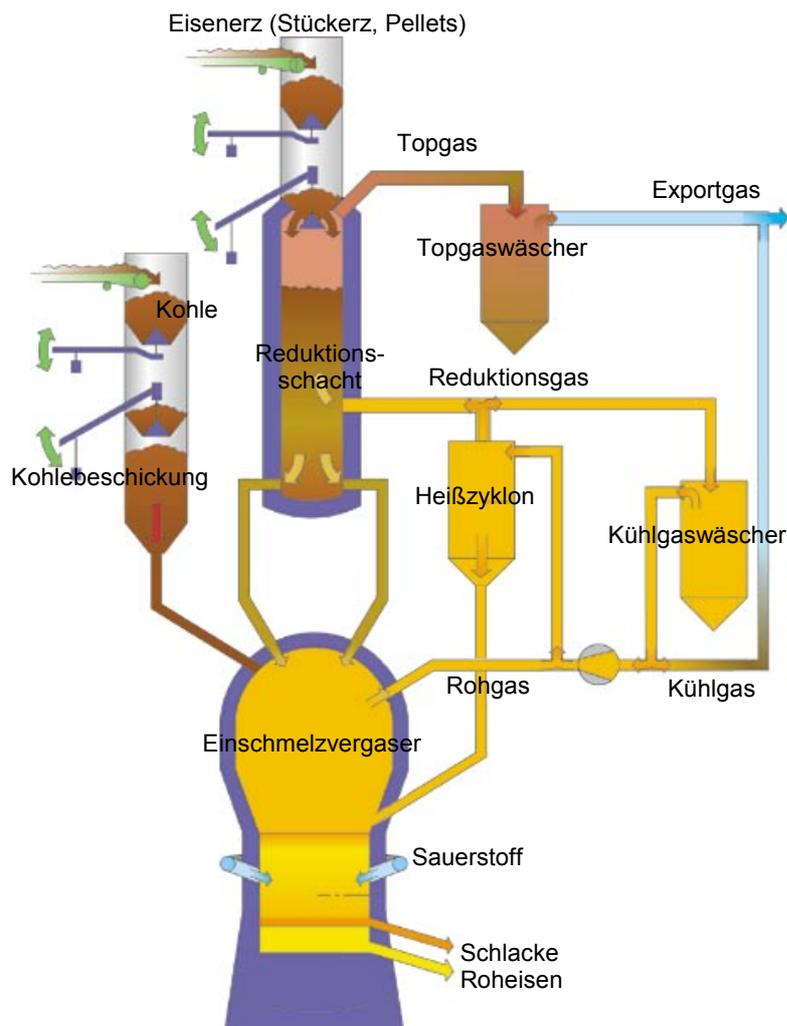


Abb.: Corex-Verfahren

Nach Kühlung und Entstaubung wird dieses sogenannte Rohgas in den Reduktionsschacht geleitet. In diesem wird das Eisenerz nach dem „Gegenstromprinzip“ zu Eisenschwamm reduziert. Der heiße Eisenschwamm wird über Schnecken aus dem Reduktionsschacht abgezogen und fällt in den Einschmelzvergaser. Dort werden die Eisenschwammteilchen weiter erwärmt und aufgeschmolzen. Am Vergaserboden bildet sich ein Bad aus flüssigem Roheisen und Schlacke. Roheisen und Schlacke werden wie beim Hochofen periodisch abgestochen. Die Roheisentemperatur liegt bei rund 1450 °C.

Ein besonderer Aspekt des Verfahrens liegt darin, dass im Vergaser wesentlich mehr Gas entsteht, als zur Reduktion des Eisenschwammes notwendig ist. Der Überschuss (Exportgas) ist ein hochwertiges Gas und kann für folgende Zwecke eingesetzt werden:

- als Heizgas im Stahl- oder Walzwerk (oder in anderen Industriebereichen), Heizwert 2200 Wh/Nm³
- zur Erzeugung von elektrischer Energie
- zur Erzeugung von Sauerstoff
- als Reduktionsgas für eine Direktreduktionsanlage.



Abb.: COREX-Anlage

COREX-Verfahren

- Wozu dient der Einschmelzvergaser?
- Was geschieht im Reduktionsschacht?
- Wozu kann das sogenannte „Exportgas“ verwendet werden?

2.6. Roheisenbehandlung und Transport

Das aus dem Hochofen strömende Roheisen wird in gewöhnliche Pfannen, Torpedo- oder Rohrpfannen gefüllt und in diesen transportiert. Vor seiner Weiterverarbeitung zu Stahl sind bei Bedarf verschiedene Zwischenschritte möglich. Früher war die Behandlung mit Soda weit verbreitet, die sowohl zu einer Entschwefelung als auch zu einem Abbau des Stickstoffgehaltes im Roheisen führt.

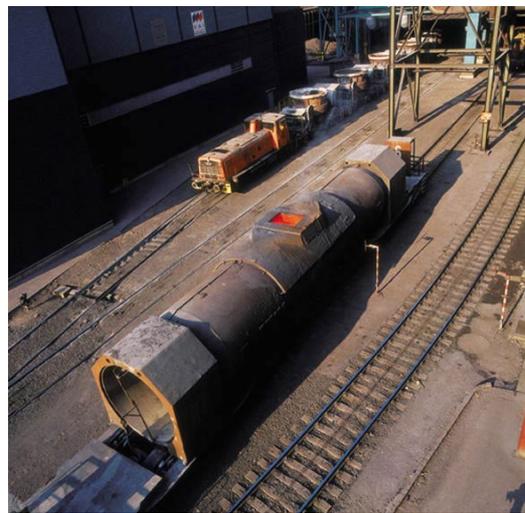
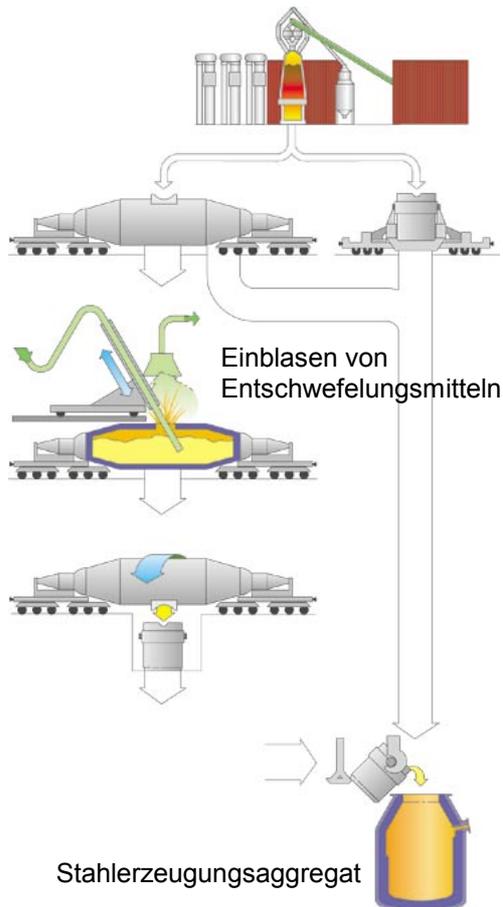


Abb.: Rohrpfanne

In Europa wird das Roheisen in der Torpedo- bzw. Rohrpfanne durch das Einblasen von Kalziumkarbidgemischen eventuell mit Zusatz von Mg entschwefelt.

Heute wird die Entschwefelung von Roheisen meist in der Chargierpfanne durchgeführt (wegen der höheren Effizienz).

Das Roheisen wird schließlich entweder über einen Mischer oder direkt dem Stahlerzeugungsaggregat zugeführt.

Roheisenbehandlung und Transport

- Welche Stoffe werden zur Roheisenentschwefelung verwendet?