

3. Stahlerzeugung

3.1. Verfahren zur Stahlerzeugung

3.1.1. Ziel aller Stahlerzeugungsverfahren

Roheisen enthält noch eine Reihe von Elementen, z. B. über 4 Masse-% Kohlenstoff, aber auch Silizium, Mangan, Phosphor und Schwefel. Elemente, die durch einen Frischprozess (Oxidation) aus dem Roheisen in die Schlacke oder in das Abgas übergeführt werden können, nennt man „Begleitelemente“.

Auch der Eisenschwamm enthält Reste von Eisenoxiden sowie die im Ausgangserz vorhandene „Gangart“ und Kohlenstoff.

Bei der Umwandlung von Roheisen und Eisenschwamm in Stahl müssen der Kohlenstoffgehalt herabgesetzt und die unerwünschten Bestandteile zum größten Teil beseitigt werden. Diesen Oxidationsprozess nennt man „Frischen“.

Beim Frischprozess erfolgt das Verschlacken bzw. Vergasen (C zu CO) der Begleitelemente mit Hilfe von Sauerstoff.

Eisenträger für die Stahlerzeugung sind neben Roheisen und Eisenschwamm noch „Schrott“.

Heute werden jährlich weltweit über 780 Millionen Tonnen Rohstahl erzeugt, davon 60 % im Sauerstoff-Blasverfahren und 33 % als Elektro Stahl. In Österreich wurden im Jahr 1999 rund 5,3 Millionen Tonnen Rohstahl hergestellt, davon 4,8 Millionen Tonnen in den Werken Linz und Donawitz des VOEST-ALPINE STAHL Konzerns.

3.1.2. Sauerstoff-Blasverfahren

Bei allen Sauerstoff-Blasverfahren werden infolge der Oxidation der Elemente Kohlenstoff, Silizium, Mangan und Phosphor große Wärmemengen frei. Es kommt zu einer Erhöhung der Temperatur des Roheisens (von im Mittel 1350 °C) auf Stahlttemperaturen (1600 °C und darüber). Daher kann in diesem Prozess Schrott aufgeschmolzen werden.



Abb.: Schrottchargieren („Einsetzen“ von Schrott)

Da das Aufschmelzen des Schrotts dem Prozess Wärme entzieht, spricht man von einer Schrottkühlung. Etwa 20 bis 30 Masse-% des gesamten metallischen Einsatzes können über Schrott eingebracht werden.

Aus den zugegebenen Zuschlagsstoffen wie Kalk bildet sich eine flüssige Schlacke. Sie bindet die unerwünschten Eisenbegleiter. Insbesondere für die Entschwefelung und die Entphosphorung ist die Schlacke von entscheidender Bedeutung.

Je nach Art der Sauerstoffzufuhr unterscheidet man zwischen

- SAUERSTOFFAUFBLASPROZESSEN (wie dem LD-Verfahren)
- SAUERSTOFFDURCHBLASPROZESSEN (wie dem OBM-Verfahren) und
- KOMBINIERTEN BLASVERFAHREN.

Als Stand der Technik werden die Konverter mit Sauerstoffzufuhr von oben und Bodenspülung betrieben. Üblicherweise wird der Prozess als Konverter- oder allgemeiner als LD-Verfahren bezeichnet.

Der LD-Prozess

Das LD-Verfahren wurde in Linz und Donawitz (1949–1952) entwickelt. Es ist jenes Verfahren, nach dem weltweit der meiste Stahl (60 %) erzeugt wird.

Mit Hilfe des LD-Verfahrens kann man große Mengen Roheisen und Schrott wirtschaftlich verarbeiten sowie Rohstahl von besonderer Güte liefern. Je Charge werden 50 bis 450 Tonnen Stahl erzeugt. Das Fassungsvermögen der größten Konverter (Tiegel) kann 450 Tonnen erreichen.

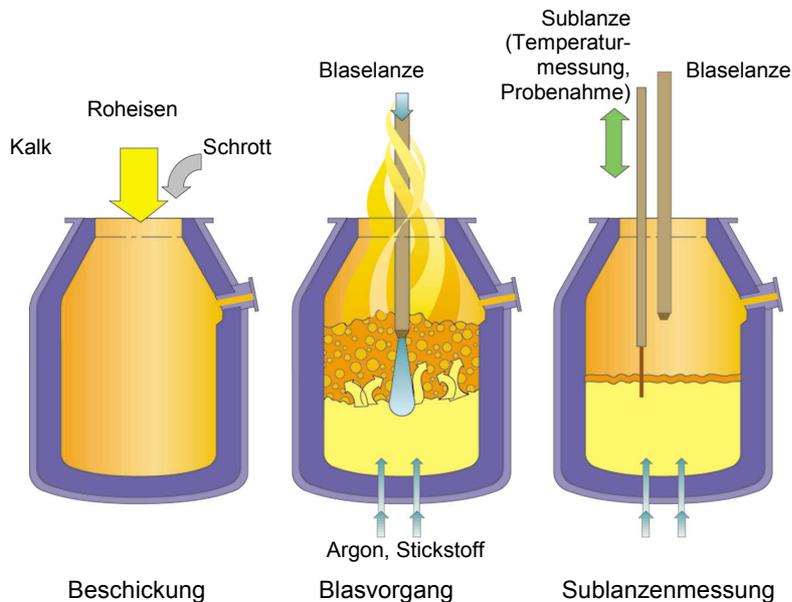


Abb.: Chargieren von flüssigem Roheisen

Beim LD-Verfahren wird der Konverter in Chargierposition mit Schrott und flüssigem Roheisen beschickt. Anschließend wird der Konverter in Blaseposition gebracht.

Durch eine wassergekühlte Sauerstofflanze wird nun der Sauerstoff mit einem Druck von etwa 12–14 bar auf das flüssige Eisenbad aufgeblasen.

Nach einer Blaszeit von 15 bis 20 Minuten sind die Begleitelemente des Roheisens auf das gewünschte Maß reduziert - aus Roheisen ist Rohstahl geworden.

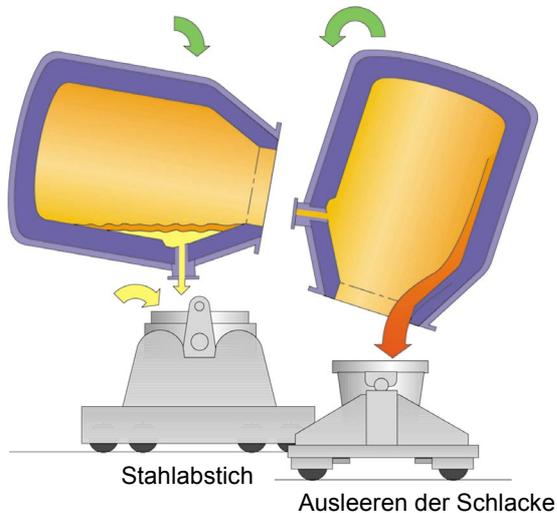
Die typische Rohstahlzusammensetzung in Masse-% bei einer Temperatur von 1650 °C:

C = 0,030 - 0,050 %, Si = 0,02 - 0,10 %, Mn = 0,10 - 0,30 %, P = 0,005 - 0,015 %, S = 0,010 %, N = 0,0020 %

Durch die Zufuhr von Inertgasen (Argon, Stickstoff) durch den Konverterboden wird die Schmelze zusätzlich homogenisiert.

Wenn die „Charge“ die Anforderungen bezüglich Temperatur und chemischer Analyse erfüllt, wird der Tiegel umgelegt und der Rohstahl fließt durch das Abstichloch in die Stahlgießpfanne. Nach dem Stahlabstich wird der Konverter auf die andere Seite gekippt und die Schlacke fließt über die Konverteröffnung in eine Schlackenpfanne.

Für die Qualität des Stahles und die Wirksamkeit der nachgeschalteten Sekundärmetallurgie ist es wichtig, dass nur wenig Schlacke in die Stahlgießpfanne gelangt. Dazu werden Schlackenerkennungsgeräte und Schlackenstopper eingesetzt.



Die Rohstahlerzeugung am Standort Linz wurde 1990 im LD-Stahlwerk 3 konzentriert, einem der umweltfreundlichsten und modernsten Stahlwerke Europas. In drei 150-Tonnen-Tiegeln werden jährlich 3,8 Millionen Tonnen Rohstahl erzeugt. Durch ein Ausbauprogramm wird die Rohstahlkapazität auf rund 4,0 Millionen Tonnen pro Jahr angehoben, in den Jahren danach soll noch eine deutlich höhere Kapazität erreicht werden. Zum Schutz der Umwelt wird im LD-Stahlwerk 3 der Staub aus dem Tiegelgas abgeschieden und wieder dem Prozess zugeführt, wobei vor allem die Rückgewinnung von Zink zu erwähnen ist. Die neue Sekundärentstaubung bringt eine weitere Verbesserung der Umwelt und der Arbeitssituation im Stahlwerk selbst. Der flüssige Stahl wird zu 100 % über drei Stranggießanlagen zu Brammen vergossen. Das beim Prozess anfallende Tiegelgas wird im Kraftwerk zur Stromerzeugung verwendet, die anfallende Schlacke findet Absatz als hochwertiges Baumaterial.



Abb.: LD-Stahlwerk 3 der VOEST-ALPINE STAHL LINZ

Der Um- bzw. Neubau des ältesten noch in Betrieb befindlichen LD-Stahlwerkes der Welt, jenem in Donawitz, in ein Kompakt-LD-Stahlwerk modernster Technologie wurde im Mai 2000 abgeschlossen. Mit zwei 67-t-Tiegeln werden jährlich bis zu 1,3 Millionen Tonnen Rohstahl erschmolzen. Der Ausbau der Sekundärmetallurgie sorgt für einen reibungslosen Produktionsablauf beim Vergießen von über 19.000 Chargen pro Jahr. Auch hier wird dem Umweltschutz in hohem Maße Rechnung getragen. Der anfallende LD-Staub wird abgeschieden und dem Prozess wieder zugeführt. Weiters sind Vorkehrungen zur Nutzung des Tiegelgases für Heizzwecke getroffen. Das neue Kompaktstahlwerk führt darüber hinaus zu einer Verbesserung der Produktqualität sowie zu einer Senkung der Herstellkosten. Diese Investition steigert damit die Marktchancen des Unternehmens für die nachgeschalteten Betriebe der Weiterverarbeitung.

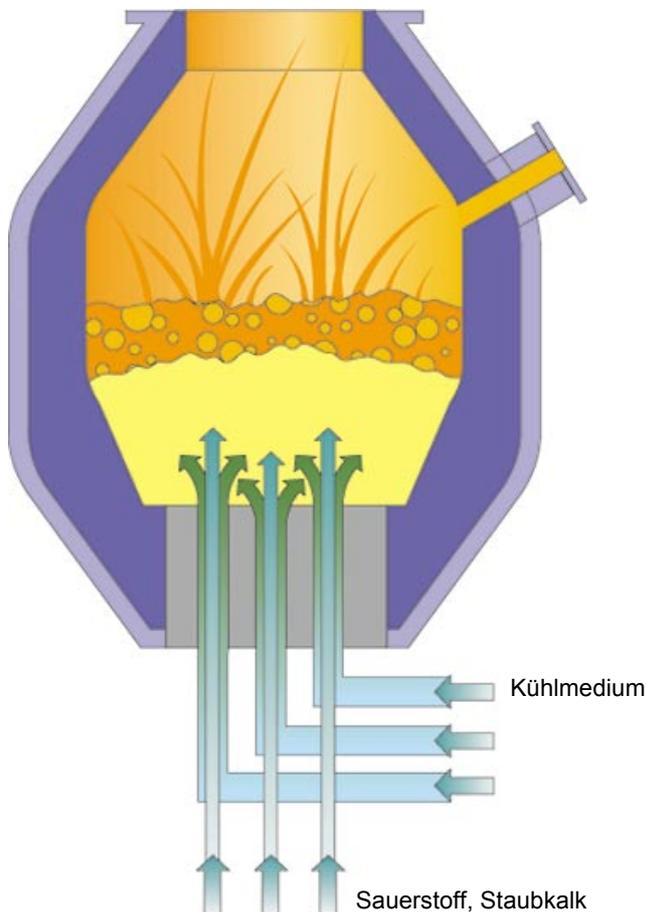


Abb.: LD-Kompaktstahlwerk der VOEST-ALPINE STAHL DONAWITZ

Das OBM-Verfahren

(Oxygen, bodenblasend, Maxhütte)

Dieser „Sauerstoffdurchblasprozess“ wurde in den 70er-Jahren entwickelt und stellt eine Alternative zum LD-Prozess dar, hat aber nur geringe Verbreitung.



Der Sauerstoff wird dabei durch das Innenrohr im Konverterboden eingeblasen, während durch das Mantelrohr ein „Kühlmedium“ eingebracht wird.

Zusammen mit dem Sauerstoff kann Feinkalk in das Bad eingeblasen werden.

Darüber hinaus ist es möglich, durch die Düsen auch andere Gase wie Stickstoff oder Argon einzublasen, um nach dem Blasprozess noch eine Spülbehandlung durchzuführen. So kann der Wasserstoff- und Sauerstoffgehalt des Rohstahls deutlich gesenkt werden.

3.1.3. Elektrostahl-Verfahren

Bei den Elektrostahl-Verfahren wird die zum Schmelzen erforderliche Wärme durch einen Lichtbogen oder über Induktion erzeugt.

Der Elektrolichtbogenofen

Der Lichtbogenofen wird hauptsächlich mit Schrott (in sortierter und kontrollierter Qualität), weniger mit Eisenschwamm und geringen Mengen Roheisen beschickt. Außerdem werden noch Erze und Zuschläge zugegeben. Zur Beschleunigung des Einschmelzens wird Sauerstoff eingeleitet.



Abb.: Elektrolichtbogen

Der von den Grafitelektroden zum Schmelzgut verlaufende Lichtbogen erzeugt Temperaturen bis zu 3500 °C. Deshalb können auch schwer schmelzende Ferro-Legierungen wie Ferro-Wolfram, -Molybdän und -Tantal eingeschmolzen werden.

Als Hochleistungsschmelzaggregat wird der Lichtbogenofen heute außer für die Erzeugung von Massestählen auch für die Herstellung von Qualitätsstählen und hochlegierten Edelstählen eingesetzt.

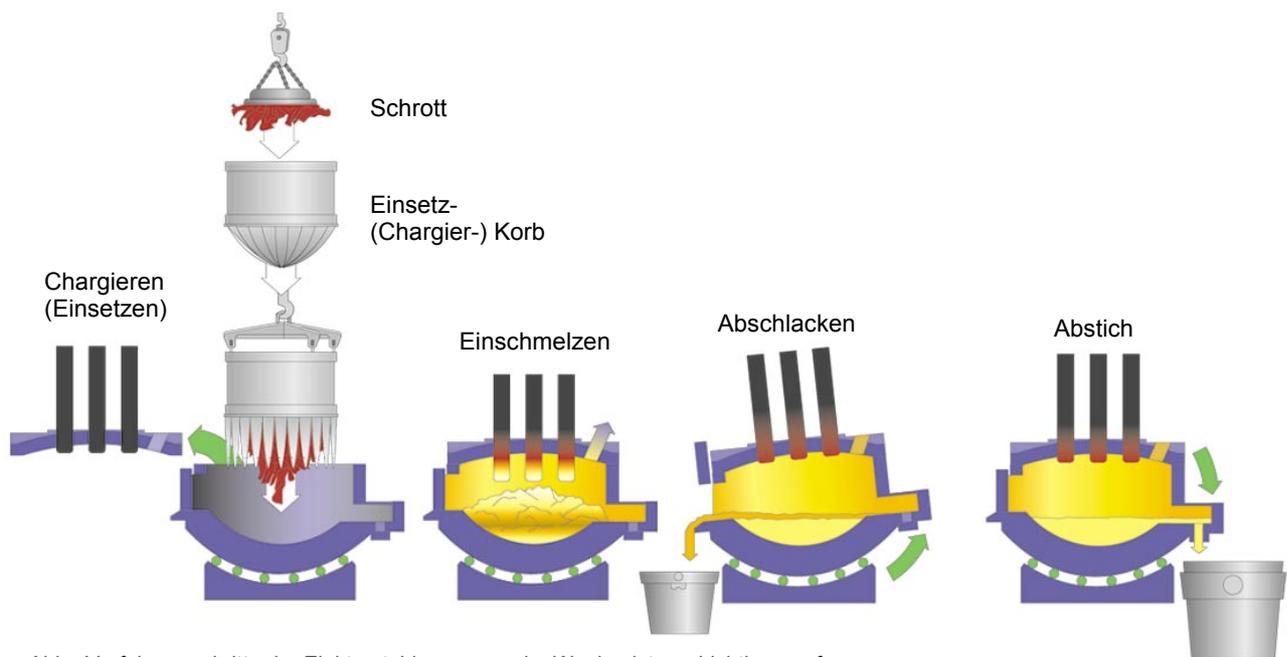


Abb.: Verfahrensschritte der Elektrostahlerzeugung im Wechselstrom-Lichtbogenofen

Stahlerzeugungsverfahren

- Was versteht man unter „Frischen“?
- Was sind die Ausgangsprodukte für die Stahlerzeugung?
- Was sind die bedeutendsten Stahlerzeugungsverfahren?
- Welche Aufgabe hat die Schlacke bei der Stahlproduktion?
- Was sind die wesentlichsten Verfahrensschritte beim LD-Verfahren?

3.2. Stahl-Nachbehandlungsverfahren

Stahl hat zum Zeitpunkt des Abstichs in den meisten Fällen noch nicht die gewünschte Qualität.

Es sind entweder noch

- unerwünschte Spurenelemente und Gase wie Sauerstoff oder Schwefel in einem zu hohen Maß vorhanden oder
- Elemente fehlen, die der Stahl jedoch enthalten muss, damit er die gewünschten Eigenschaften aufweist.

Zur Qualitätsverbesserung muss daher eine Nachbehandlung erfolgen, die als „SEKUNDÄRMETALLURGIE“ bezeichnet wird.

Die wichtigsten Nachbehandlungsstufen sind die Desoxidation, die Spülgasbehandlung, die Entschwefelung und die Vakuumbehandlung.

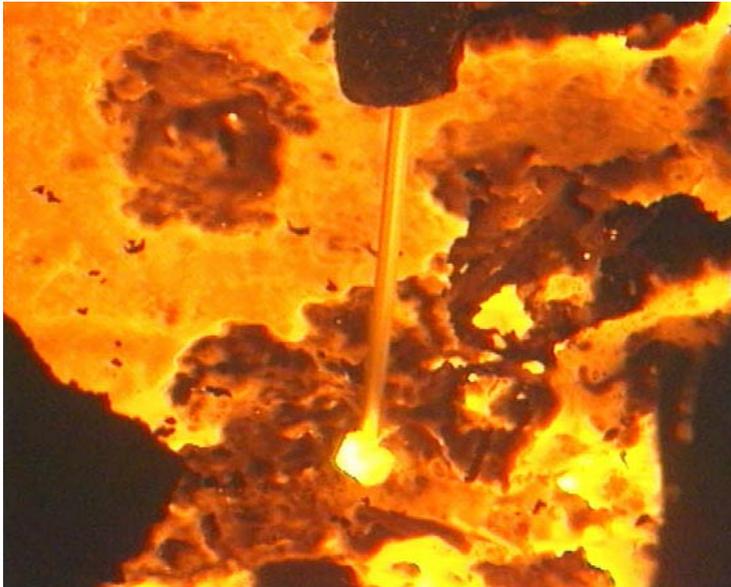


Abb.: Einspulen von Aluminiumdraht in die Stahlgießpfanne beim Pfannenofen

3.2.1. Desoxidation

Der Abbau des Sauerstoffs erfolgt durch den Zusatz von solchen Elementen (wie Aluminium oder Ferrosilizium), die mit dem Sauerstoff stabile Oxide (Desoxidationsprodukte) bilden. Der Zusatz erfolgt meist beim Abstich direkt in die Stahlgießpfanne.

Die Desoxidationsprodukte sind Verunreinigungen im Stahl, die durch „Spülen“ der Schmelze (mit Argon oder Stickstoff) und einer speziellen Pfannenschlacke (aus Kalk und Tonerde) weitestgehend zur Ausscheidung gebracht werden.

3.2.2. Spülgasbehandlung

Es gibt zwei Möglichkeiten einer Spülgasbehandlung:

- die Gasspülung durch eine feuerfest ummantelte Lanze und
- die Gasspülung durch einen porösen Stein im Pfannenboden.

Das Einblasen von Stickstoff oder inerten Gasen wie Argon bewirkt, dass sich Legierungsmittel, die in der Pfanne zugesetzt werden, durch die Rührwirkung schneller auflösen und gleichmäßiger verteilt werden.

Das Spülgas durchperlt die Schmelze und schwemmt dabei die Desoxidationsprodukte und Verunreinigungen an die Oberfläche.

Ein weiterer Effekt ist eine Homogenisierung der Temperatur und der Schmelze.

Entschwefelung

Schwefel ist von wenigen Ausnahmen abgesehen (z. B. im Automatenstahl) unerwünscht, da er die mechanischen Eigenschaften ungünstig beeinflusst.

Die Entschwefelung zielt darauf ab, Schwefel und andere Stoffe an Schlackebildner zu binden. Erreicht wird dies durch Einblasen von Entschwefelungsmitteln (Kalzium-Silizium, Kalziumkarbid) in die Schmelze. Eine entsprechende Pfannenschlacke hilft bei der Entschwefelung mit und nimmt die gebildeten Sulfide und Oxidsulfide auf.

Statt des Einblasens kann auch ein mit Entschwefelungsmitteln gefüllter Stahldraht in den flüssigen Stahl eingespult werden. Durch die Zugabe der Entschwefelungsmittel kann auch eine Modifikation der Einschlussform erreicht werden.

3.2.3. Pfannenofen

Der Pfannenofen dient als Puffer zwischen der Erschmelzung und dem Vergießen des Stahles sowie zum Einstellen einer genauen Temperatur in der Stahlgießpfanne.

Metallurgische Behandlungen wie das Desoxidieren, Entschwefeln und Legieren nehmen eine gewisse Zeit in Anspruch. Während dieser Zeit sowie bei der Zugabe von Legierungsmitteln und beim Gasspülen, nimmt die Temperatur der Schmelze in der Pfanne kontinuierlich ab.

Es ist daher unter bestimmten Betriebsbedingungen notwendig, dass der flüssige Stahl zwischen dem Abstich des Stahlerzeugungsaggregates und dem Vergießen erwärmt oder zumindest auf konstanter Temperatur gehalten wird.

Dies ist möglich durch das Zwischenschalten eines Pfannenofens.

Dabei wird das Stahlbad in der Pfanne durch drei Grafitelektroden, ähnlich wie beim Elektrolichtbogenofen, aufgeheizt.

Während dieses Prozesses können andere Behandlungsschritte, wie Gasspülen durch den Pfannenboden, Einspulen von Fülldrähten, etc., durchgeführt werden.

Der Pfannenofen trägt somit zur Entlastung des Stahlerzeugungsaggregates bei, da bei niedrigeren Temperaturen abgestochen werden kann.

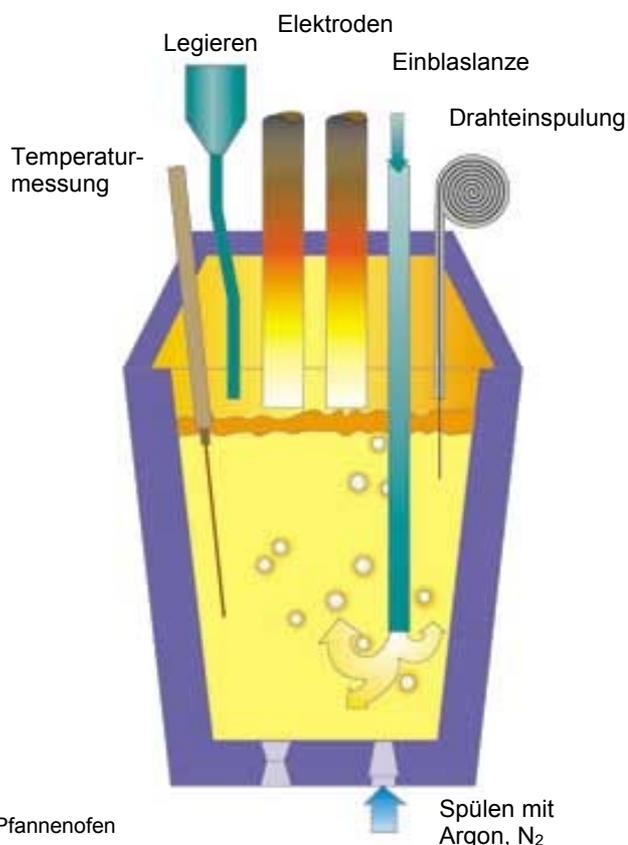


Abb.: Pfannenofen

3.2.4. Vakuumbehandlung

Beim Erstarren des Stahls verbleibt ein Teil der gelösten Gase (H, N, O) im Stahl. Sie scheiden sich aus, bewirken starke Spannungen und kleine Risse im Gefüge des Stahls und setzen dadurch Dehnung und Alterungsbeständigkeit herab. Wird dagegen der Druck über dem flüssigen Stahl vermindert, entweichen die Gase fast vollständig aus der Schmelze und können abgesaugt werden. Dadurch wird die Qualität des Stahls verbessert.

Es gibt eine Reihe verschiedener Vakuumverfahren; so zum Beispiel das „Vakuumlauverfahren mit Möglichkeit zum Einblasen von Sauerstoff“ (**RH**, d. h. **Ruhrstahl Heraeus**). Das Vakuumgefäß ist dabei mit zwei Saugrüsseln ausgestattet, die in die gefüllte Pfanne eintauchen. Bei Evakuierung des Gefäßes wird der Stahl in diese eingesaugt. Durch Einspülen von Argon in einen der Rüssel wird ein kontinuierlicher Umlauf der Schmelze von der Pfanne in das Vakuumgefäß und zurück erzwungen. Im Vakuumgefäß wird der flüssige Stahl aufgrund des Druckabfalls in viele kleine Teile zerlegt. Die damit auftretende Oberflächenvergrößerung bewirkt eine sehr gute Entgasung der Schmelze. Bei entsprechendem Angebot von Sauerstoff gelingt es, im Stahl Kohlenstoffgehalte in der Größenordnung von 0,0010 Masse-% einzustellen. Während der Entgasungsbehandlung können auch Legierungsmittel eingebracht werden.

Stahlnachbehandlungsverfahren

- Warum sind Stahlnachbehandlungsverfahren nötig?
- Wozu dient der Pfannenofen?
- Was sind die wichtigsten Stahlnachbehandlungsverfahren?

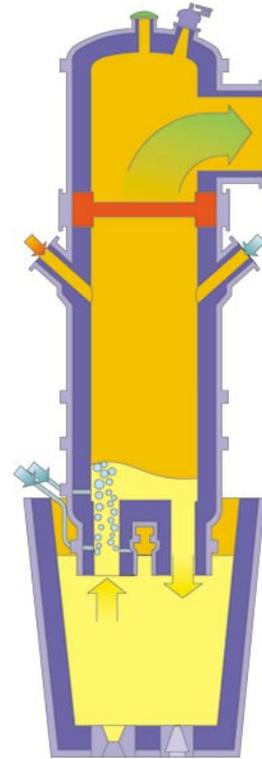


Abb.: Vakuumlauverfahren