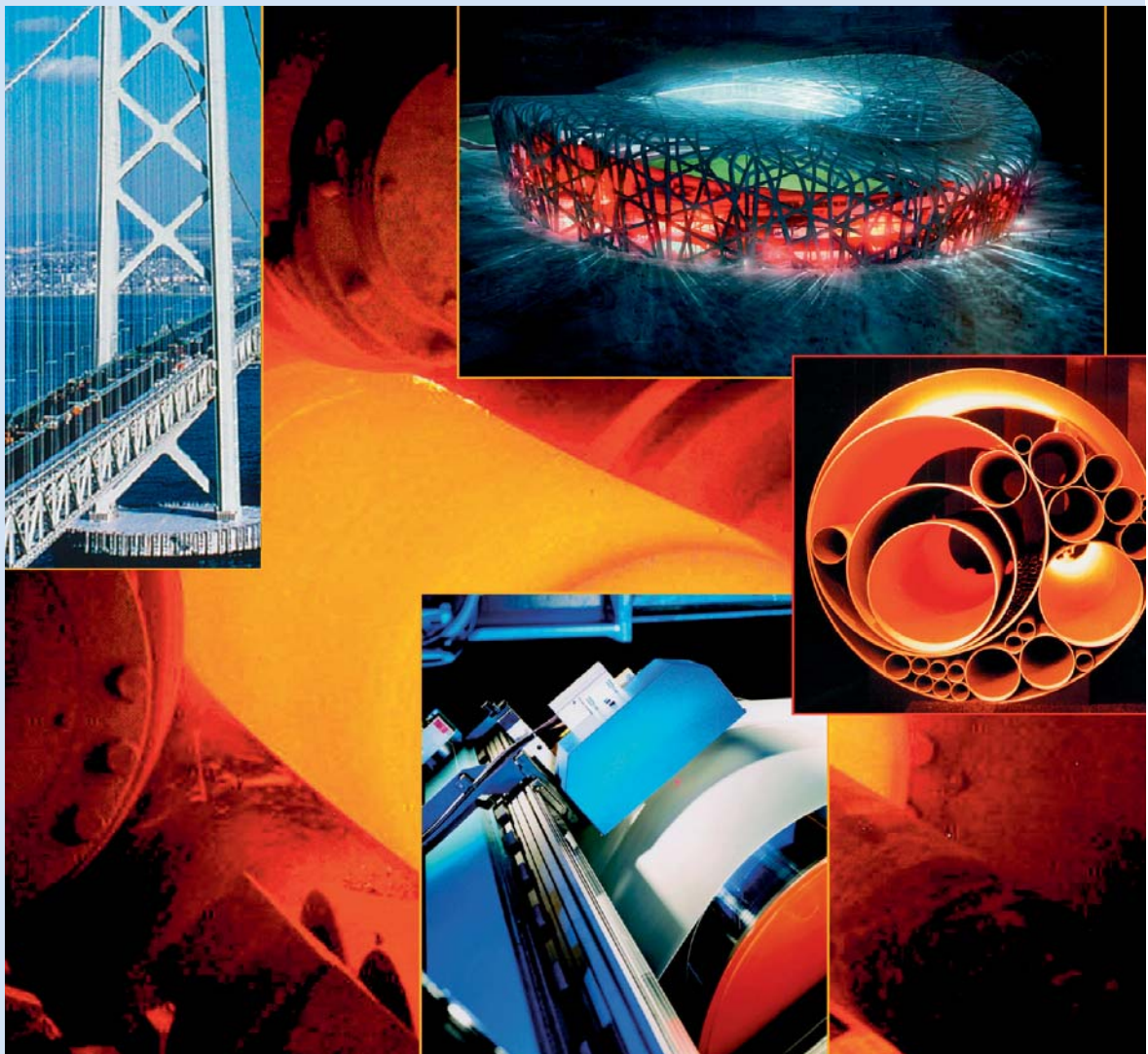


Schaubild

Wege zum Stahl





Hochofenanlage



Abgedeckte Roheisenrinnen in der Hochofengießhalle während des Hochofenabstichs

Wege zum Stahl

Stahl ist aufgrund seiner vielseitigen Eigenschaften und seines uneingeschränkten Recyclings der Basiswerkstoff in vielen Bereichen unserer Wirtschaft. Kein anderer Werkstoff wird in so zahlreichen Anwendungen zur Erzielung genau definierter Endproduktmerkmale eingesetzt. Das breite Spektrum seiner Eigenschaften, kombiniert mit einer großen Anzahl an Lieferformen, macht Stahl zu einem unentbehrlichen Werkstoff in nahezu allen Bereichen der Technik: im Fahrzeugbau, im Bauwesen, im Maschinen- und Anlagenbau, in der Verkehrs-, Umwelt- und Medizintechnik ebenso wie in der Verpackungs- und Hausgeräteindustrie.

Heute werden weltweit mehr als 1,3 Milliarden Tonnen Rohstahl erzeugt. Dies geschieht über unterschiedliche Verfahrenswege. Metallische Einsatzstoffe sind dabei Eisenerze in stückiger Form oder als Pellets und Sinter sowie Stahlschrott und Legierungsmittel.

Vom Erz zum Stahl

In der Natur kommt Eisen als Erz in chemischen Verbindungen mit anderen Elementen vor. Eisenerze sind Eisen-Sauerstoff-Verbindungen (Oxide), die mit Begleitelementen vermischt sind. Zur Erzeugung von Eisen müssen diese aufgelöst werden. Zur Abtrennung des Sauerstoffs von Eisen, d. h. zur Reduktion des Erzes, benötigt man Reduktionsmittel, die sich mit dem Sauerstoff des Erzes verbinden. Dies sind z. B. Koks, Kohle, Öl oder Gas. Die unerwünschten Stoffe im Erz, die sogenannte Gangart, werden in der Schlacke gebunden. Zur Durchführung der Reduktion ist Wärme erforderlich. Die Reduktion erfolgt üblicherweise im Hochofen. Dabei entsteht flüssiges Roheisen.

Der Hochofen ist ein feuerfest ausgemauert, kontinuierlich betriebener Schachtofen, der nach dem Gegenstromprinzip arbeitet. Die grobkörnigen Einsatzstoffe sinken von oben nach unten, während das Reduktionsgas von unten entgegenströmt. Auf dem Weg durch den Hochofen nach unten werden die Einsatzstoffe zunächst vorgewärmt und getrocknet. Dann werden die Eisen-Sauerstoff-Verbindungen der Erze schrittweise reduziert (aufgelöst). Die Reduktion der Eisenerze erfolgt im Wesentlichen durch Kohlenstoffmonoxid, das bei der Vergasung des Kohlenstoffgehaltes der Reduktionsmittel im unteren Teil des Hochofens bei Temperaturen von 2.000 bis 2.200 °C entstanden ist. Im Gestell des Hochofens sammeln sich das flüssige Roheisen und darüber die leichtere flüssige Schlacke. Beide lässt man in zeitlichen Abständen über Abstichlöcher abfließen, die nach jedem Abstich wieder verschlossen werden. Das so gewonnene Roheisen hat einen Kohlenstoffgehalt von ca. 4,7%.

Die Abmessungen eines Hochofens sind von den geplanten Produktionsmengen abhängig. Große Hochöfen mit Gestelldurchmessern von ca. 15 m erschmelzen pro Tag bis zu 13.500 Tonnen Roheisen oder 4,4 Mio t Roh-eisen pro Jahr.

Es gibt auch Verfahren, bei denen die Erze ohne Koks reduziert werden. Diese Verfahren bezeichnet man als Direktreduktion und Schmelzreduktion. Bei der Direktreduktion wird kein flüssiges Roheisen erzeugt, da diese Verfahren bei niedrigeren Temperaturen arbeiten als der Hochofen. Den Erzen wird lediglich der Sauerstoff entzogen und die Gangartbestandteile der Erze verbleiben im Produkt Eisenschwamm (heute auch als DRI = Direct Reduced Iron bezeichnet). Die Reduktionsgas-



Einfüllen von Roheisen in einen Konverter

erzeugung erfolgt bei 85 % der Direktreduktionsverfahren durch Umwandlung von Erdgas in Wasserstoff und Kohlenstoffmonoxid und zu 15 % durch Einsatz von Kohle als Reduktionsmittel. Die gasbasierten Verfahren werden aus wirtschaftlichen Gründen vornehmlich in Regionen mit verfügbarem preiswertem Erdgas betrieben. Die größten Anlagen erreichen eine jährlichen Eisenschwammerzeugung von 1,7 bis 2 Mio t. Eisenschwamm wird im Wesentlichen im Elektrolichtbogenofen eingesetzt. Bei der Schmelzreduktion wird zweistufig gearbeitet. Zunächst werden die Erze zu Eisenschwamm reduziert und dieser anschließend unter Einsatz von Kohle und Sauerstoff zu einem hochofenähnlichen Roheisen umgewandelt. Die größten Industrieanlagen erreichen eine jährliche Erzeugung von 1,5 Mio t Roheisen.

Roheisen enthält noch unerwünschte Begleitelemente wie Kohlenstoff, Silicium, Schwefel und Phosphor. Diese werden im Konverterstahlwerk aus der Schmelze entfernt. Aus Roheisen wird so Rohstahl, welcher dem Prozess entsprechend auch Oxygenstahl genannt wird. Im Konverter werden diese Begleitelemente durch Aufblasen von Sauerstoff über eine wassergekühlte Lanze oxidiert. Den Vorgang des Aufblasens nennt man Frischen. Im Aufblasbereich entstehen Temperaturen von 2.500 bis 3.000 °C. Als Kühlmittel wird zusätzlich Stahlschrott in der Größenordnung von 10 bis maximal 30 % der Gesamtcharge zugesetzt. Ein Konvertergefäß kann bis zu 400 Tonnen Rohstahl fassen. Der eigentliche Blasprozess dauert etwa 20 Minuten. Neben dem reinen Aufblasen von Sauerstoff wird heute zumeist auch das kombinierte Blasen durch den Boden mit Inertgasen (Stickstoff, Argon) zum Spülen angewendet.



Drehstrom-Elektrolichtbogenofen

Beim Abstich in eine Stahlgießpfanne hat der flüssige Rohstahl eine Temperatur von 1.650 bis 1.750 °C. Zusätzlich können beim Abstich schon Legierungsmittel zugegeben werden. Aufgrund der hohen Qualitätsanforderungen an die Eigenschaften der erschmolzenen Stähle wird eine Nachbehandlung (Sekundärmetallurgie) erforderlich. Über diesen Verfahrensweg werden ca. 65 % der weltweiten Rohstahlproduktion erzeugt.

Vom Schrott zum Stahl

Der Einsatz von Stahlschrott zur Herstellung von Rohstahl ist eines der ältesten Recyclingverfahren überhaupt. Als Einschmelzaggregat kommt der Elektrolichtbogenofen zur Anwendung. In ihm wird die zum Schmelzen erforderliche Wärme durch elektrischen Strom erzeugt. Durch den Lichtbogen lässt sich die elektrische Energie mit sehr gutem Wirkungsgrad und hoher Energiedichte in Schmelzwärme umwandeln. Aus einem Strom hoher Spannung und hoher Stromstärke wird über einen Transformator ein Strom niedriger Spannung und hoher Stromstärke erzeugt. Graphitelektroden leiten den elektrischen Strom und bilden den Lichtbogen zum metallischen Einsatz. Außer dem Drehstrom-Elektrolichtbogenofen, der mit drei Graphitelektroden arbeitet, wird heute Rohstahl auch im Gleichstrom-Elektrolichtbogenofen hergestellt.

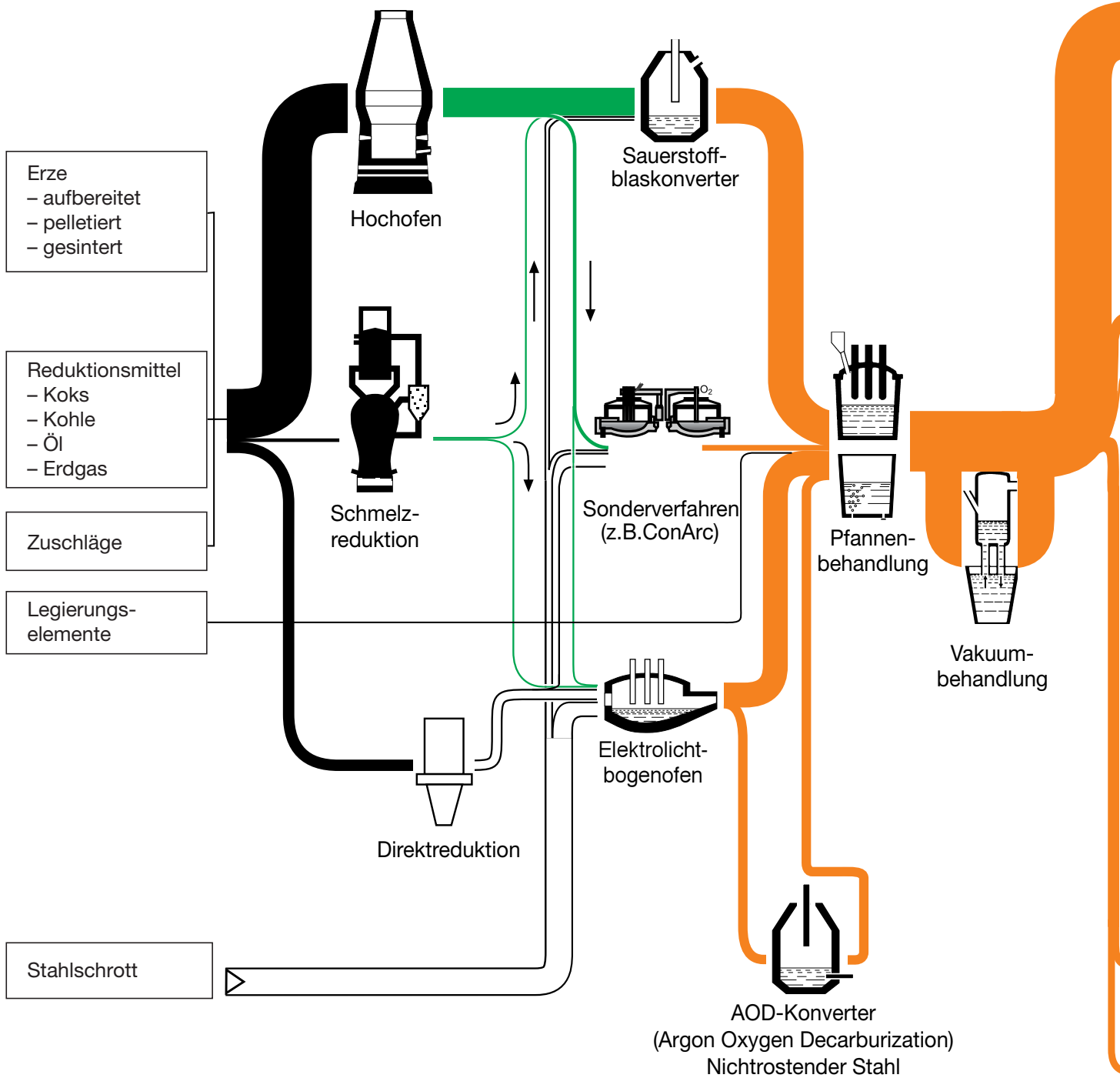
Beim Einschmelzen der festen Einsatzstoffe entstehen im Lichtbogen zwischen den Elektroden Temperaturen von bis zu 3.500 °C und in der Stahlschmelze bis zu 1.800 °C. Zusätzliches Einblasen von Sauerstoff oder anderer Brennstoff-Gasgemische beschleunigt den Schmelzprozess. Für die Erzeugung einer den Lichtbogen abschirmenden Schaumslagge wird Kohle eingeblasen.

Einsatzstoffe

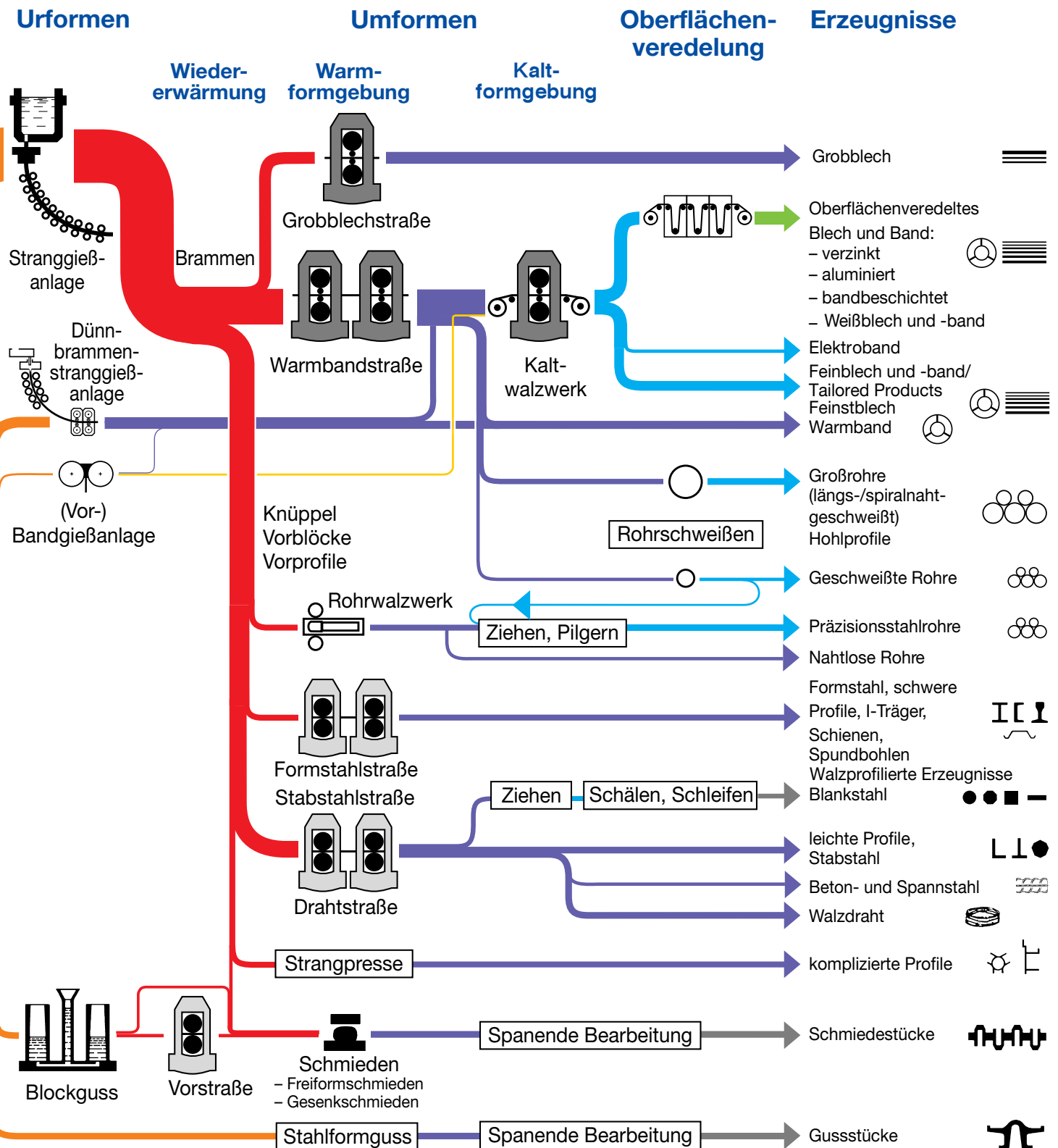
Reduktion

Stahlerzeugung

Sekundärmetallurgie



- | | |
|-----------------------------|--------------------------------|
| feste metallische Stoffe | Warmband (urgeformt) |
| Einsatzstoffe | warmumgeformter Stahl |
| flüssiges Roheisen | kaltumgeformter Stahl |
| flüssiger Rohstahl | oberflächenbeschichteter Stahl |
| fester „rotglühender“ Stahl | spanend bearbeitete Werkstücke |





Brammenstranggießanlage mit zwei Strängen



Vorstraße eines Warmbreitbandwalzwerkes

Der Elektrolichtbogenofen zeichnet sich durch seine Flexibilität und der Variationsmöglichkeit seiner Einsatzstoffe aus. Neben dem zumeist zu 100 % verwendeten Stahlschrott können auch Eisenschwamm, Roheisen (fest, flüssig) sowie beliebige Mischungen dieser einzelnen Eisenträger eingesetzt werden. Moderne Öfen fassen bis zu 250 Tonnen Stahl und benötigen für eine Schmelze weniger als eine Stunde. Je nach Einsatz kann jede Stahlsorte erschmolzen werden. In der Kombination Elektrolichtbogenofen auf Schrottbasis und AOD-Verfahren (Argon Oxygen Decarburization) werden nicht-rostende Edelstähle hergestellt.

Der Anteil des Elektrostahlverfahrens an der weltweiten Rohstahlproduktion beträgt rund 31 %.

Sekundärmetallurgie

Die hohen Qualitätsanforderungen an die Eigenschaften der aus Erz und Stahlschrott hergestellten Stähle machen eine Nachbehandlung erforderlich. Dies erfolgt in der Sekundärmetallurgie, der Pfannen- bzw. Vakuumbehandlung von flüssigem Rohstahl. Hier werden die Schmelzen homogenisiert und genaue Temperaturgrenzen eingestellt. Insbesondere aber dienen die Verfahren der Sekundärmetallurgie der Einstellung exakter Gehalte an Kohlenstoff, Stickstoff, Wasserstoff, Phosphor sowie der Legierungselemente im Stahl. Die chemische Zusammensetzung lässt sich dabei mit einer Genauigkeit von Tausendstel Prozentwerten einstellen.

Vergießen des Stahls

Der in großen Mengen anfallende flüssige Rohstahl muss anschließend zu bestimmten Formen und Abmessungen verfestigt werden.

Dies erfolgt durch das Vergießen im Blockguss- oder Stranggießverfahren. Unter dem Blockgussverfahren versteht man das portionsweise Vergießen des Stahls in Kokillen. Dieses Verfahren wurde zunehmend durch das kontinuierliche Stranggussverfahren abgelöst. Dennoch behält es Bedeutung z. B. beim Vergießen großer Stückgewichte für die Weiterverarbeitung durch Schmieden oder bei der Herstellung hochreiner Stähle und Sonderlegierungen in sogenannten Umschmelzverfahren.

Der zur Umformung durch Walzen bestimmte Stahl wird in der Regel im Stranggussverfahren vergossen, in Deutschland mit einem Anteil von 96 %, weltweit mit 90 %. Bei dem Verfahren gelangt der flüssige Rohstahl aus der Gießpfanne über einen Verteilerbehälter (Tundish) unter Luftabschluss fortlaufend in eine gekühlte, nach unten offene Kupferkokille. Der in seiner Randzone erstarrte rotglühende Strang wird durch Treibrollen aus der Kokille gezogen und durch Segmente gestützt, in einem großen Bogen von der senkrechten in die horizontale Lage geführt. Dabei wird der Strang wegen seines noch flüssigen Kerns sorgfältig mit Wasser abgekühlt. Die Form der Kokille bestimmt den Querschnitt des Stranges (Brammen, Knüppel, Vorblöcke). Nach vollständiger Erstarrung wird der Strang durch mitfahrende Schneidbrenner oder Scheren auf bestimmte Längen zerteilt. In Abhängigkeit von der Größe des Querschnitts liegt die Geschwindigkeit des gegossenen Stranges zwischen 0,8 und 3,0 Meter pro Minute. Die in neuerer Zeit entwickelten Verfahren des endabmessungsnahen Gießens erlauben die Erzeugung von Flachstahlprodukten unter erheblicher Verkürzung des Produktionsprozesses. Beim sogenannten Dünnbrammengießen werden Gießdicken von 50 bis 90 mm erreicht und Gießgeschwindigkeiten von 6 Meter pro Minute.



Mechanisch-hydraulische Schmiedemaschine



Oberflächenveredeltes bandbeschichtetes Stahlfeinblech für die Automobil-, Hausgeräte- und Bauindustrie

Formgebung

Der verfestigte Rohstahl besitzt noch keine für den Stahlverwender nutzbare Form. Und die technologischen Eigenschaften entsprechen noch nicht den Anforderungen. Zu den weiteren Behandlungsschritten zählen das Umformen und die Veränderung der Stahleigenschaften durch Wärmebehandlung. Das Umformen von Stahl erfolgt in Walzwerken und in Schmieden.

Die Umformung in Walzwerken geschieht im Wesentlichen mit Hilfe von zwei parallel angeordneten, sich in entgegengesetzter Richtung drehenden Walzen. Dabei wird der Stahl zwischen den Walzen hindurchgeführt und durch hohe Druckkräfte hauptsächlich in Längsrichtung bei gleichbleibender Querschnittsverminderung gestreckt. Im Walzwerk stellen die Walzgerüste die zentralen Anlagenteile dar, die nach den Merkmalen Anzahl und Lage der Walzen sowie Abmessungen der Walzen benannt werden. Man unterscheidet noch zwischen Warmwalzen, dem Umformen bei hohen Temperaturen, und dem Kaltwalzen, Umformen ohne Erwärmen.

Beim Schmieden erfolgt der Umformprozess für das Werkstück auf Schmiedepressen, Schmiedehämmern oder Radialschmiedehämmern. Im Allgemeinen wird beim Schmieden die Werkstoffumformung im warmen bzw. halbwarmen Zustand vorgenommen, um möglichst große Formänderungen und eine Optimierung der Gefügeeigenschaften zu erzielen. Zur Erlangung höchster Produktgenauigkeiten ist auch das Schmieden im kalten Zustand möglich. Während des Umformvorgangs beim Radialschmieden wird das Werkstück durch Manipulatoren gehalten und mit einer Drehbewegung durch den mit bis zu vier Schmiedewerkzeugen bestückten Schmiedekasten geführt.

Die Umformung gibt den Stahlerzeugnissen ihre Gestalt. Die Eigenschaften dieser Erzeugnisse werden durch das Gefüge bestimmt. Zur Einstellung der gewünschten Gefügestände werden die Stahlsorten bestimmten Wärmebehandlungen schon während des Umformens oder anschließend unterzogen. Dabei wird je nach Stahlsorte und gewünschter Eigenschaft nach einer bestimmten Temperatur-Zeit-Folge wärmebehandelt.

Oberflächenveredelung

Zum Schutz der Oberfläche gegen Korrosion kann der Stahl elektrolytisch oder mit Schmelztauchverfahren mit metallischen Überzügen versehen werden. In weiteren Behandlungsschritten können diese veredelten Stähle zusätzlich organisch beschichtet werden. Neben der Funktion des Korrosionsschutzes erfüllen Korrosionsschutzschichten dekorative und zum Teil auch verarbeitungstechnische Anforderungen, die durch die jeweils letzte Schicht des Beschichtungssystems erfüllt werden. Bevor Korrosionsschutzschichten auf den Stahl aufgebracht werden können, muss dessen Oberfläche dafür vorbereitet werden. Abnehmer der oberflächenveredelten Bänder sind u. a. die Automobil-, Hausgeräte- und Bauindustrie.

Fertigerzeugnisse

Dem Anwendungsfall entsprechend, haben Stahlfertigerzeugnisse unterschiedliche Lieferformen. Diese umfassen Bleche und Bänder, Rohre, Profile, Stäbe, Drähte, Guss- und Schmiedestücke in verschiedenen Querschnitten und Abmessungen.



**Stahl-Informations-Zentrum
im Stahl-Zentrum**

Postfach 10 48 42 · 40039 Düsseldorf
Sohnstraße 65 · 40237 Düsseldorf
E-Mail: siz@stahl-info.de · www.stahl-info.de