



Eisen: Stahl und Edelstahl

Lydia Breitbarth, Matthias Ritter, Ewa Losowski, Phil Richter, Dominic Bachschwöller, Viet Fuchs
1996 - 2022

Gliederung

1	Eisen	3
2	Bedeutung von Eisen und Stahl	4
3	Stahlherstellungsprozess	5
3.1	Hochofenprozess.....	5
3.2	Stahlherstellung (Frischverfahren).....	6
3.3	Raffinationsprozesse	7
3.3.1	Blasverfahren.....	7
3.3.2	Herdfrischverfahren	8
3.3	Sekundärmetallurgie (Nachbehandlung des Stahls).....	8
3.3.1	Elektrolichtbogen-Verfahren	8
3.3.2	Vakuumbehandlung	9
3.3.3	Pfannenofen.....	9
3.3.4	Stahlklassifizierung	9
3.3.5	Edelstahlklassifizierung.....	9
3.4	Eisenreduktion mit Wasserstoff	10
3.4.1	Wasserstoff und direkte Reduktionsanlagen.....	10
3.4.2	Vor- und Nachteile	10
4	Experimente	11
4.1	Versuch 1: Thermit	11
4.2	Versuch 2: Nickel-Nachweis in Legierung	12
4.3	Versuch 3: Brünieren von Stahlteilen	12
4.4	Versuch 4: Hochofen im Kleinformat	13

Einstieg 1: Die ältesten Eisen-Gegenstände sind etwa 6000 Jahre alt. Damals war es sehr schwierig, Eisen in größeren Mengen zu gewinnen. Bei uns in Europa haben erstmals die Kelten im Siegerland um 700 v. Chr. begonnen, Eisen zu verhütten. Dazu erhitzen sie Eisenerz im Holzkohle-Feuer unter kräftiger Luft-Zufuhr. Heute wird das Roheisen in den Hochöfen (Abb. 1) der Eisenhütten gewonnen und in Walzwerken weiterverarbeitet. „TCM 18/10“ ist heute wohl der bekannteste Stahl und wird als Werkstoff für Besteck oder Töpfe verwendet (Abb. 2).

Ganz selbstverständlich werden in unserer Umgangssprache die Begriffe Eisen, Stahl und Edelstahl verwendet, von vielen sogar synonym. Im folgenden Vortrag soll nun der Unterschied zwischen Eisen, Stahl und Edelstahl deutlich werden.



Abb. 1: Hochofen [1]



Abb. 2: Besteck aus Edelstahl [2]

Einstieg 2: Bei der großtechnischen Ammoniak-Synthese werden Wasserstoff und Stickstoff unter Drücken von 250 bis 350 bar und Temperaturen zwischen 450 bis 550°C in Reaktoren zur Reaktion gebracht. Die Wenigsten wissen, dass es besonders in den Jahren nach Erfindung des Verfahrens durch Haber und Bosch immer öfters zur Explosion dieser Reaktoren kam, da diese aus Stahl gegossen wurden. Kohlenstoff-Einlagerungen reagierten mit dem genutzten Wasserstoff und es bildete sich Methan. Der Reaktor wurde spröde und durch die Methan-Entwicklung kam es schließlich zur Explosion. Auch heute wird das Haber-Bosch-Verfahren zur Ammoniak-Synthese genutzt, doch hört man von solchen Unfällen heute nicht mehr. Was sich geändert ist u.a. Thema des Beitrages.

Einstieg 3: Jeder der bereits mit Freunden zusammen in eine Wohngemeinschaft gezogen ist weiß, dass hierbei Differenzen und Streitigkeiten vorprogrammiert sind. In den meisten Fällen beziehen diese sich auf finanzielle Aspekte, Lärm und Unruhe oder Unordnung. In meinem Beispiel ist es jedoch genau umgedreht, meine Mitbewohner haben einen regelrechten Putzfimmel. Mittlerweile geht dieses Problem schon so weit, dass Herd und Spüle aus Edelstahl schon anfangen zu rosten, weil zwei der Mitbewohner diese Elemente zu oft und mit den falschen Putzmitteln reinigen. Ihr Argument ist jedoch, dass die rötlichen Verfärbungen kein Rost sein können, weil Edelstahl bekanntlich nicht rosten kann. Diese Behauptung gilt es jetzt zu untersuchen.

Einstieg 4: Iron Man - ein Mann mit eiserner Rüstung und ein legendärer Superheld. Der Anzug ist ein Symbol für seine Stärke, Genialität und für modernste Technologien. Doch es ist genauso dieselbe Rüstung, die unsere Welt langsam, aber sicher zerstört, da sie wesentlich zur Klimakatastrophe beiträgt. Superheld auf der einen und Klimaschurke auf der anderen Seite. Um diesen Widerspruch zu verstehen, soll zunächst betrachtet werden, wie Iron Man's Anzug bisher hergestellt wurde. Weiterhin wird ein Ausblick darüber gegeben, wie Iron Man seinen Ruf als Superheld doch noch gerecht werden kann.

1 Eisen

Reines, metallisches Eisen ist ein ziemlich weiches, silberweißes Metall. Es hat die Ordnungszahl 26 und steht in der 8. Nebengruppe und der 4. Periode des PSE. Das Eisen bildet mit den nah verwandten Elementen Cobalt und Nickel die so genannte Eisen-Gruppe.

- In der Erdkruste ist Eisen mit einem Massenanteil $w(\text{Fe}) = 6,2\%$ das viert häufigste Element und nach Aluminium das zweit häufigste Metall
- Eisen gehört zu den unedlen Metallen und kommt in der Natur fast nie elementar vor, sondern überwiegend in Verbindungen. Meist handelt es sich dabei um wasserhaltige oder wasserfreie Oxide.
- Eisen-Mineralen treten nie allein auf, sondern immer mit Begleitgesteinen, die als Gangart bezeichnet werden
- Gesteine, die $w(\text{Fe}) = 20\%$ oder mehr Eisen enthalten, werden als Eisen-Erze oder Eisen-Mineralen bezeichnet. Die wichtigsten Eisen-Mineralen sind Magnetit (Fe₃O₄) auch Magnetit genannt, Roteisenstein (Fe₂O₃), welches oft als Hämatit bezeichnet wird sowie Spateisenstein (FeCO₃), welches auch Siderit genannt wird. (Abb. 3)



Abb. 3: Eisenerze Magnetit (links), Hämatit (mittig) und Siderit (rechts)[15]

Eisen kommt in mehreren allotropen Modifikationen vor (Abb. 4)

- α -Eisen: Im α -Eisen lösen sich $w(\text{C}) = 0,018\%$. Das Kristall-Gitter hat eine kubisch-raumzentrierte Form. Die Misch-Kristalle werden als Ferrit bezeichnet. In diesen besetzen C-Atome die Kristall-Kanten. Existiert bei $T=928^\circ\text{C}$.
- γ -Eisen: Es bildet kubisch-flächenzentrierte Kristall-Gitter und entspricht Austenit. In ihm lösen sich max. $w(\text{C}) = 2,1\%$ und das γ -Eisen ist nur im Temperatur-Bereich von 928 bis 1398°C zu beobachten.
- δ -Eisen: Im Temperatur-Bereich zwischen 1.398°C und Schmelzpunkt, also 1.535°C

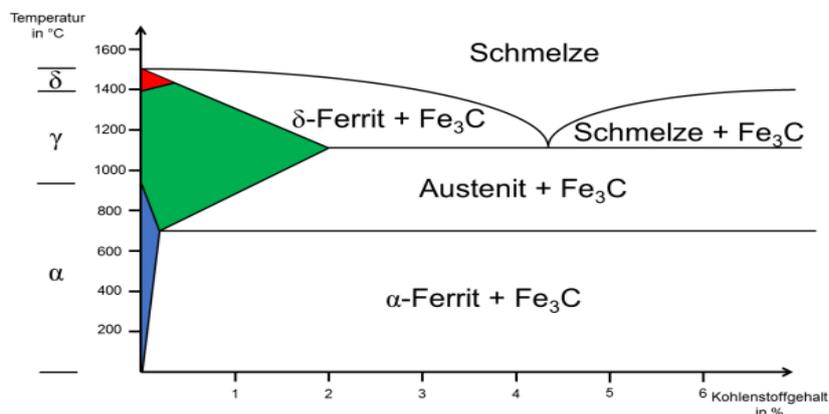
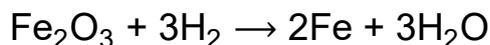


Abb. 4: Allotrope Modifikationen des Eisens

Oberhalb von 1.535°C existiert nur die Schmelze. Kühlt man eine Schmelze, die mehr als $w(C) = 4,3\%$ enthält, schnell ab, so scheidet sich Cementit Fe_3C ab. Je nachdem, wie hoch der Prozent-Anteil an Kohlenstoff ist, spricht man von Eisen, Stahl, Roheisen oder Cementit. Chemisch reines Eisen erhält man im Labor durch Reduktion von Oxiden mit Wasserstoff bei 400 bis 700°C oder durch Elektrolyse wässriger Eisensalz-Lösungen.



Roh-Eisen dagegen wird durch Reduktion von oxidischen Eisen-Erzen mit Koks hergestellt. Verwendet werden in Deutschland importierte Eisen-Erze, die einen $w(Fe) = 64\%$ haben. Die Reduktion dieser Eisen-Erze zum Roh-Eisen erfolgt im Hochofen. Er wird dazu abwechselnd mit Schichten aus Koks und Erz beschickt. Durch Brechen und Sieben werden die Rohstoffe Erz und Koks zerkleinert und auf eine gleichmäßige Stückgröße gebracht. Um Staubanteile einzubinden und die Durchgasung der Schüttung im Hochofen-Schacht zu verbessern, werden die Erze gesintert oder pelletiert. Beim Sintern werden den Erzen gleichzeitig Zuschläge zugesetzt, die während des Hochofen-Prozesses mit den Erzbeimengungen, also mit der Gangart, leicht schmelzbare Calcium-Aluminium-Silicate (Schlacke) bilden. Wenn die Gangart Aluminiumdioxid und siliciumdioxidhaltig ist, werden calciumoxidhaltige Zuschläge zugesetzt, wie Kalkstein oder Dolomit. Bei calciumoxidhaltigen Gangarten müssen dann in umgekehrter Weise die Zuschläge siliciumdioxid- und aluminiumdioxidhaltig sein. Dazu setzt man z. B. Feldspat oder Schichtsilikate ein.

2 Bedeutung von Eisen und Stahl

Eisen ist der Hauptbestandteil von Stahl. Heutzutage wäre eine Welt ohne Stahl nichts mehr. Viele alltägliche Situationen wären ohne Stahl nicht mehr möglich, da einige Haushaltsgegenstände, wie Töpfe, Herd, Spüle, Besteck, aber auch Uhren nicht mehr existieren würden. Gebäude und Brücken würden ohne Stahl in sich zusammenstürzen und alle Arten von Fortbewegungsmitteln, ob Züge, Autos oder Fahrräder würden nicht mehr existieren. Auch aus der Stromerzeugung ist Stahl heute nicht mehr wegzudenken. Egal ob dieser in Strommasten oder in Turbinen für die Stromerzeugung eingesetzt wird (Abb. 5). [14]

Da Stahl eine so große Bedeutung für uns hat ist es wichtig sich genauer mit seiner Herstellung zu beschäftigen, um zu sehen, wieso er so vielfältig eingesetzt werden kann.



Abb. 5: Verwendungsmöglichkeiten von Stahl

3 Stahlherstellungsprozess

3.1 Hochofenprozess

Im Hochofenprozess werden die Eisenerze, die im Bergbau gewonnen wurden für die eigentliche Stahlherstellung vorbereitet. Der Hochofen hat eine Höhe von ca. 50 m und einen Durchmesser von ca. 10 m (Abb. 5). Die Wände bestehen aus feuerfesten Steinen, die von einem Stahlmantel umgeben sind. Zur Kühlung der Ummantelung sind in das Mauerwerk Kästen eingelassen, durch die fortwährend Wasser fließt. Moderne Hochöfen liefern täglich mehr als 10.000 Tonnen Roheisen. Seine durchschnittliche Betriebsdauer beträgt 10 Jahre, in denen er nie ausgeht. Der Hochofen ist ein verfahrenstechnischer Apparat, indem durch chemische Reaktionen aus Rohstoffen oder Vorprodukten entsprechend reinere, wertvollere Endprodukte gewonnen werden können. [6]

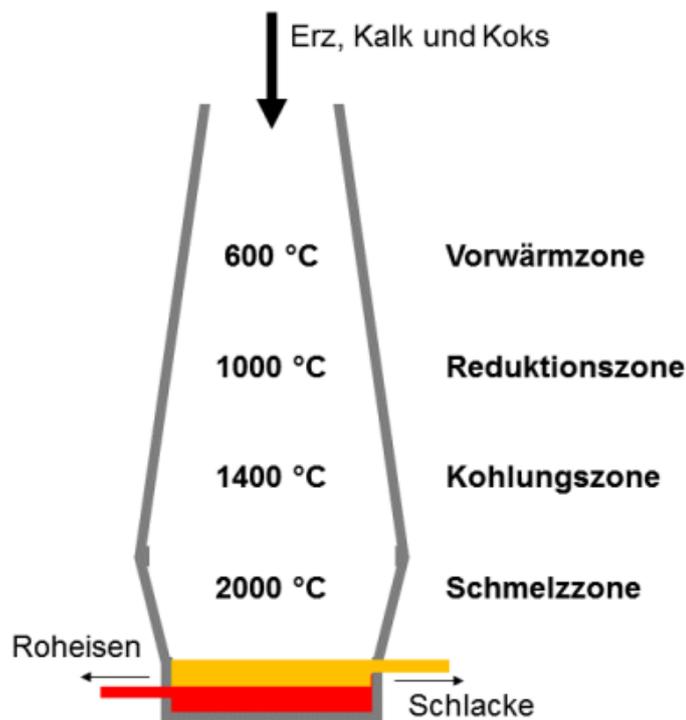
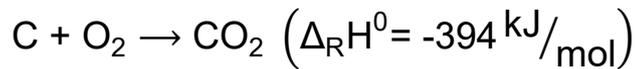


Abb. 5: Schematische Darstellung eines Hochofens

Einsatz		Abgabe	
Erz (Pellets)	15.800 Tonnen	Roheisen	11.000 Tonnen
Zuschläge	2.300 Tonnen	Schlacke	3.500 Tonnen
Koks	5.000 Tonnen	Gichtgas und Staub	23.500 Tonnen
Heißwind	15.000 Tonnen		
Kühlwasser	96.000 Tonnen	erwärmtes Kühlwasser	96.000 Tonnen

Tab. 1: Massen-Bilanz eines Hochofens pro Tag

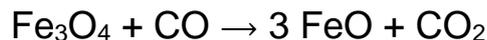
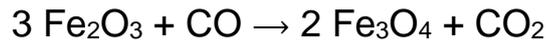
Die Arbeitsweise des Hochofens ist das Gegenstrom-Prinzip. Von unten wird erhitzte Luft "Heißwind" durch die "Windformen" in den Hochofen eingeblasen. Die erste Schicht schmilzt, und die darüber liegenden Schichten (Beschickung) sinken nach unten ab. Die erhitzte Luft, die in den Hochofen eingeblasen wird, hat eine Temperatur von 1.000 bis 1.300°C. Zusätzlich werden ihr ca. 3,5% Sauerstoff zugesetzt. An der Einblasstelle verbrennt der im Koks enthaltene Kohlenstoff mit Sauerstoff zunächst zu Kohlenstoffdioxid, dabei entstehen Temperaturen bis 2.300°C:



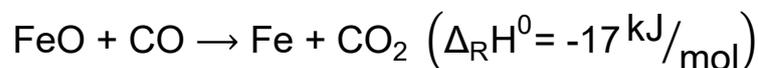
Kohlenstoffdioxid reagiert sofort mit dem heißen Koks der darüber liegenden Schicht unter Wärme-Verbrauch zu Kohlenstoffmonoxid:



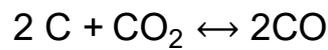
Dadurch kühlt sich das Gas ab; so beträgt die Temperatur oberhalb der Schmelzzone in der so genannten "Rast" ca. 1.600°C. In den oberen Erz-Schichten in der Vorwärmzone werden die Eisenoxide vom Kohlenstoffmonoxid stufenweise reduziert.



Im unteren Teil des Hochofens liegt das bereits teilreduzierte Eisen-Erz überwiegend als Wüstit bzw. Eisen-(II)-oxid „FeO“ vor. Dieses wird durch Kohlenstoffmonoxid zu Eisen reduziert:



Das entstandene Kohlenstoffdioxid wandelt sich in der darüber liegenden Koks-Schicht wieder in Kohlenstoffmonoxid um und wird in der folgenden Erzsicht erneut reduziert. Boudouard-Gleichgewicht:

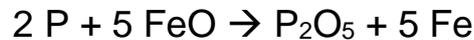
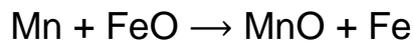
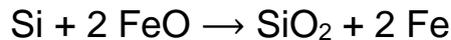


Dieser 2-stufige Vorgang wird als „direkte Reduktion“ bezeichnet. Im oberen Bereich des Hochofens, in dem die Temperatur des aufsteigenden Gases kleiner als 900°C beträgt, findet nur noch die Reduktion von Eisenoxid unter Bildung von Kohlenstoffdioxid statt. Diesen Vorgang bezeichnet man als „indirekte Reduktion“. So werden hauptsächlich Eisen(III)-oxid und Eisen(II,III)-oxid indirekt reduziert. Im oberen kälteren Teil des Schachts erfolgt keine Reduktion mehr. Es wird lediglich die Beschickung durch die heißen Gase vorgewärmt. In Eisen können sich maximal $w(\text{C}) = 4,3\%$ Kohlenstoff lösen, dadurch wird der Schmelzpunkt des Roheisens auf 1.150°C erniedrigt (Schmelzpunkt reines Eisen: 1.539°C). Da im unteren Bereich des Hochofens höhere Temperaturen vorherrschen, tropft das verflüssigte Eisen nach unten und sammelt sich im Gestell, unterhalb der flüssigen, leichteren Schlacke. Die Schlacke schützt das Roh-Eisen vor Oxidation durch die eingeblasene Heißluft. Das flüssige Roh-Eisen und die flüssige Schlacke werden von Zeit zu Zeit durch das Stichloch abgeblasen. Die Nebenprodukte, die bei der Einschmelzung des Roh-Eisens anfallen sind Schlacke und Gichtgas. Schlacke wird als Straßenbau-Material oder zur Zement-Herstellung verwendet, das Gichtgas wird zur Heizung des Hochofen-Windes und der Koks-Öfen ausgenutzt.

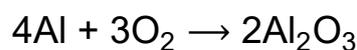
3.2 Stahlherstellung (Frischverfahren)

Das gewonnene Roh-Eisen enthält $w(\text{C}) = 3,5 - 4,5\%$, dadurch ist es spröde und erweicht beim Erhitzen sofort. Um es in verformbares Eisen zu überführen, also um daraus Stahl zu machen, muss der Kohlenstoff-Gehalt herabgesetzt werden. Der Kohlenstoff-Gehalt im Stahl ist meist $w(\text{C}) < 1\%$. Stähle sind also Eisen-Kohlenstoff-Legierungen, die weniger als $w(\text{C}) = 1\%$ enthalten. Um Roh-Eisen in Stahl zu überführen, müssen außerdem noch störende Begleit-Elemente wie Phosphor, Schwefel, Silicium, Sauerstoff und Mangan auf

niedrigere Rest-Gehalte reduziert werden. Dies geschieht durch mehrere Raffinationsprozesse: Als erstes die Frisch-Reaktion. Hierbei wird Sauerstoff oder Luft in das flüssige Roheisen eingeblasen. Hierbei reagiert der Sauerstoff mit dem Roheisen zunächst zu Eisen(II)-oxid. Dieses oxidiert die Begleit-Elemente Silicium, Mangan und Phosphor zu den entsprechenden Metalloxiden.



Zur Verschlackung der Metalloxide wird Calciumoxid zugesetzt. Der verbliebene Kohlenstoff reagiert mit dem im flüssigen Eisen und gelösten Sauerstoff zu Kohlenstoffmonoxid. Der im flüssigen Stahl gelöster Sauerstoff verursacht bei der Erstarrung des Stahls schädliche oxidische Einschlüsse, daher muss flüssiger Stahl desoxidiert werden, und zwar mit Aluminium. Desoxidationsreaktion:



Bei der Entschwefelung mit Calcium, Magnesium oder Calciumcarbid wird der gelöste Schwefel in Sulfid überführt. Und gebildetes Kohlenstoffmonoxid und atomar gelöster Wasserstoff werden durch Entgasung unter geringen Druck entfernt.

3.3 Raffinationsprozesse

3.3.1 Blasverfahren

Hierbei wird das Roheisen mit Sauerstoff oder Luft direkt gefrischt. Der Oxidationsprozess liefert genug Wärme, um den Stahl flüssig zu halten. Blasverfahren können je nachdem ob der Sauerstoff bzw. die Luft von unten oder von oben eingeblasen wird in Bodenblasverfahren und Aufblasverfahren unterschieden werden. Ein wichtiges Bodenblasverfahren war das Thomas Verfahren, bei dem durch Bodendrüsen Luft in das flüssige Roheisen eingeblasen wurde. Nachteil bei diesem Verfahren war das große Mengen an Stickstoff und Wasserstoff im Stahl gelöst wurden. Stickstoff bildet mit Eisen und anderen Legierungselementen spröde Nitride, die den Stahl weniger zäh machen. Der hohe Wasserstoffgehalt hat negative Einflüsse auf das Schweißverhalten des Stahls. Deshalb wurde das Verfahren in der Mitte der 1970er Jahre eingestellt und das Thomasverfahren durch das Linz-Donawitz Verfahren abgelöst (LD-Verfahren). [12]

Das LD-Verfahren oder auch Sauerstoffaufblasverfahren genannt, dient hauptsächlich der Erzeugung von unlegierten Stählen (Abb. 6). Bei diesem Verfahren ist in einem Konverter Roh-Eisen, Schrott (Kühlzweck), und Kalk (Schlacke) enthalten. Auf die Schmelze wird mit einer Sauerstoff-Lanze Sauerstoff mit 6 - 10 bar aufgeblasen. Durch den Gasstrahl und das beim Frischen entstandene Kohlenstoffmonoxid wird das Bad durchmischt (Begleit-Elemente werden als Oxide in den Schlacken phasenweise überführt). Die Bad-Temperatur steigt von 1.350°C auf 1.650°C und es stellt sich $w(\text{C}) = 0,05\%$ ein. Die Schlacke schwimmt auf der Schmelze und kann leicht entfernt werden. Der durch dieses Verfahren gewonnen Stahl findet eine breite Anwendung im Hoch-, Tief-, Schiffs- und Rohrleitungsbau.

Windfrischen: Linz-Donauwitz-Verfahren

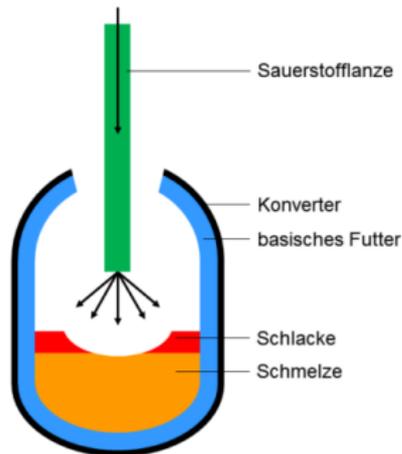


Abb. 6: Schematische Darstellung des Linz-Donauwitz-Verfahrens

3.3.2 Herdfrischverfahren

Der zur Oxidation benötigte Sauerstoff kommt von dem Roheisen zugesetzten Schrott und Erzen. Es erfordert jedoch eine externe Zuführung von Wärme. Ein wichtiges Verfahren war hierbei das Siemens-Martin Verfahren, welches jedoch heute aufgrund seines aufwändigen Prozesses und seiner unzureichenden Produktivität nicht mehr eingesetzt wird. Für diesen Prozess dient ein spezieller Ofen, in den das flüssige Roheisen und Schrott und Erze gegeben werden. In einer Wärmekammer unter dem Ofen wird kalte Luft erwärmt. Mit dieser erhitzten, jetzt heißen Luft wird ein anderer Gasstrom erhitzt, der noch heißer wird als der Luftstrom. Dieses heiße Gas wird dem Stahl zugeführt und die entsprechende Frischreaktion ausgelöst. Vorteil hierbei ist, dass dauerhaft Temperaturen eingehalten werden konnten, die über der Schmelztemperatur von Stahl lagen und kein Stickstoff mehr im Stahl gelöst war. [10]

3.4 Sekundärmetallurgie (Nachbehandlung des Stahls)

Nach dem Frischverfahren wird der Stahl sekundärmetallurgisch nachbehandelt. Hierbei unterscheidet man den elektrischen Lichtbogen, die Vakuumbehandlung oder die Behandlung im Pfannenofen.

3.4.1 Elektrolichtbogen-Verfahren

Das Elektrolichtbogen-Verfahren dient hauptsächlich für das Erschmelzen von Edelstählen. Die Zufuhr der elektrischen Energie erfolgt auf die Weise, dass in einen runden Ofenkessel durch den aufgesetzten Deckel drei Graphit-Elektroden ragen, von deren Ende ein elektrischer Lichtbogen auf die Schmelze überspringt. Eingesetzter Schrott sowie schwer schmelzbare Begleit-Elemente können in der Schmelze aufgelöst werden. Zu dieser Schmelze können nun Metalle und Nichtmetalle zugeführt werden. Dadurch verändern sich die Eigenschaften dieser Stähle. Teilweise entstehen Eigenschaften, die aus der Wirkung der einzelnen zugeführten Elemente nicht zu erwarten sind. [12]

- Chrom verbessert die Härte und Wärmefestigkeit der Stähle,
- Nickel und Vanadium erhöhen die Zähigkeit,
- Molybdän erhöht die Wärmefestigkeit und Wolfram die Härte.

3.4.2 Vakuumbehandlung

Durch die Vakuumbehandlung werden vor allem Wasserstoffgase entfernt und oxidationsempfindliche Legierungselemente wie beispielsweise Titan eingebracht.

3.4.3 Pfannenofen

Im Pfannenofen wird die Gießtemperatur für Stahl eingestellt, Legierungsbestandteile werden hinzugegeben und es erfolgt die Desoxygenierung mithilfe von Aluminium oder Calcium, um den noch vorhandenen Sauerstoff zu entfernen.

3.4.4 Stahlklassifizierung

Je nach Art der Behandlung in der Sekundärmetallurgie und dem anschließend möglichen Einsatz kann man Stahl unterschiedlich klassifizieren. Durch Zugabe von Legierungselementen erhält man legierte Stähle. Man kann den Stahl jedoch auch unlegiert lassen. Unlegierte Stähle haben neben Kohlenstoff und Eisen keine weiteren Bestandteile. Der Kohlenstoffanteil muss hierbei unter 2,06% liegen. Alle anderen Elemente sind nur noch in unwesentlichen Mengen vorhanden (0,1%). Wird dieser Anteil überschritten handelt es sich um legierten Stahl. Unlegierte Stähle kann man in unlegierte Massen/Bau­stähle, Qualitätsstähle, bestimmte Härte, Korngröße oder Bearbeitbarkeit, auch höhere Zähigkeit als Massenstähle) und unlegierte Edelstähle (höherer Reinheitsgrad als Qualitätsstähle, weniger Gehalt an Phosphor und Schwefel als Qualitätsstähle, auch Spannbetonstähle und Reaktorstähle) unterteilen. Auch die legierten Stähle kann man nach der Menge der Legierungsbestandteile weiter klassifizieren. Mikrolegierte Stähle haben einen Gehalt an 0,01 bis 0,1 % an Legierungsbestandteilen, niedriglegierte Stähle zeichnen sich dadurch aus, dass nicht mehr als 5 % der Gesamtmasse Legierungsbestandteile sind und hochlegierte Stähle haben mehr als 5 % Legierungsbestandteile in ihrer Zusammensetzung. [11]

Alle diese unterschiedlichen Stahlsorten, ob unlegiert und legiert können sogenannte Edelstähle sein. Dabei handelt es sich um Stähle, deren Eigenschaften durch Zulegierung geeigneter Stahl-Veredler verbessert werden. Sie weisen einen hohen Reinheitsgrad auf, sodass $w(S/P) = 0,025\%$ nicht überschritten wird. [8]

Mögliche Legierungselemente sind Phosphor, Aluminium, Molybdän, Zirkonium, Titan, Silicium, Schwefel, Chrom, Nickel, Magnesium, Wolfram, Cobalt, Mangan, Kupfer, Vanadium, Zinn, und Bor. Diese sorgen dafür, dass der Edelstahl die benötigten Eigenschaften, wie Festigkeit, Verarbeitbarkeit, Hitze- und Kälteschutz, Langlebigkeit und Rostbeständigkeit erhält. [9]

Rostbeständigkeit in diesem Fall gilt nicht für alle Edelstähle, da sich der Begriff nur auf die Reinheit des Stahls bezieht, unabhängig davon, welche Legierungselemente eingefügt wurden. Rostfreiheit wird gewährleistet indem mindestens ein Chromanteil von 10,5 % zum Stahl hinzulegiert wird.

3.4.5 Edelstahlklassifizierung

Edelstähle können auf Grund ihres Gefüges in folgende Gruppen eingeteilt werden [7]:

- ferritische Edelstähle
- martensitische Edelstähle
- austenitische Edelstähle
- ferritisch-austenitische Edelstähle (Duplex-Stähle)

Ferritische Edelstähle: Die Chromstähle mit $w(\text{Cr}) = 10,5 - 13\%$ werden aufgrund ihres geringen Chrom-Gehaltes nur als „korrosionsträge“ bezeichnet. Sie kommen dort zum

Einsatz, wo Lebensdauer, Sicherheit und Wartungsarmut im Vordergrund stehen und keine besonderen Anforderungen an das Erscheinungsbild gestellt werden. Dies ist zum Beispiel im Container-, Waggon- und Fahrzeugbau der Fall.

Martensitische Edelstähle: Die martensitischen Edelstähle mit $w(\text{Cr}) = 12 - 18\%$ und mit $w(\text{C}) > 0,1\%$, sind bei Temperaturen über $950 - 1.050^\circ\text{C}$ austenitisch. Ein schnelles Abkühlen (Abschrecken) führt zur Bildung eines martensitischen Gefüges. Dieses Gefüge besitzt speziell im vergüteten Zustand eine hohe Festigkeit, die mit steigendem Kohlenstoff-Gehalt noch weiter zunimmt. Diese Stähle werden zum Beispiel für die Herstellung von Rasierklingen, Messern oder Scheren eingesetzt. Voraussetzung für eine ausreichende Korrosionsbeständigkeit ist eine geeignete Oberflächen-Ausführung, die zum Beispiel durch Schleifen erreicht werden kann.

Austenitische Edelstähle: Die austenitischen Edelstähle, auch Chrom-Nickel-Stähle genannt, mit $w(\text{Ni}) > 8\%$ bilden unter den Gesichtspunkten Verarbeitbarkeit, Korrosionsbeständigkeit und mechanische Eigenschaften die günstigste Kombination. Die hohe Korrosionsbeständigkeit ist die wichtigste Eigenschaft dieser Edelstahl-Sorte. Aus diesem Grund werden austenitische Edelstähle in Bereichen mit aggressiven Medien eingesetzt. Zum Beispiel beim Kontakt mit chloridhaltigem Seewasser, in der chemischen oder der Lebensmittel-Industrie.

Austenitisch-ferritische Edelstähle: Die austenitisch-ferritischen Edelstähle werden wegen ihrer zwei Gefüge-Bestandteile oft als Duplex-Stähle bezeichnet. Diese hohe Dehnbarkeit bei gleichzeitiger Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit lassen diese Stähle speziell im Bereich der Off-Shore-Technik zum Einsatz kommen.

3.5 Eisenreduktion mit Wasserstoff

3.5.1 Wasserstoff und direkte Reduktionsanlagen

- Wasserstoff ist genau wie Kohlenstoffmonoxid:
- Gasförmig bei Raumtemperatur
- Ein starkes Reduktionsmittel

Deshalb eignet sich H_2 -Gas als Alternative zu Kohlenstoffmonooxid. Es wird bereits in sogenannten direkten Reduktionsanlagen angewendet. Die Funktionsweise ist analog zum Hochofen, wobei das Produkt als fester Eisenschwamm gewonnen wird. Der Grund dafür ist, dass der Prozess in der direkten Reduktionsanlage bei einer Temperatur von $750 - 1080^\circ\text{C}$ stattfindet. Dies ist wesentlich geringer als beim Hochofenprozess [4].

3.5.2 Vor- und Nachteile

Ein entscheidender Nachteil des direkten Reduktionsverfahrens ist, dass sehr viel Wasserstoff für die Eisenproduktion benötigt wird. Die Produktion von Wasserstoff wiederum ist mit einem hohen Energiebedarf verbunden. Die Klimabilanz von Wasserstoff als Reduktionsmittel verschlechtert sich dadurch erheblich. Zudem kommt es durch den Aufwand bei der Wasserstoffproduktion und durch das Schmelzen des Eisenschwamms mittels Elektrolichtbogen oder Schmelzofen für die Weiterverarbeitung zu einer Preissteigerung für Stahlprodukte [16].

Trotz der wirtschaftlichen und energetischen Nachteile bleibt der Wasserstoffansatz eine Möglichkeit, die Folgen des Klimawandels zu minimieren. Durch die Einsparung von CO_2 kann der Treibhauseffekt deutlich abgedämpft werden. Diese positive Bilanz bleibt nur erhalten, wenn der verwendete Wasserstoff „grün“ ist, also mithilfe erneuerbarer Ener-

gien produziert wurde. In Zeiten wie diesen, in denen erste Auswirkungen des Klimawandels spürbar werden, sind solche alternativen, klima-freundlichen Ideen wie die direkte Reduktionsmethode besonders wertvoll.

4 Experimente

4.1 Versuch 1: Thermit

Zeitbedarf: 15 Minuten + Zeit bis zum Erkalten (20-30 Minuten), Lehrende.

Kompetenz/Ziel:

F: Affinität von Metallen zu Sauerstoff, Bindungsenthalpie, exotherme Reaktion.

B: Anwendung zum Schweißen von Eisenbahn-Schienen.

Material:

- Hand-Brenner
- Aluminothermie-Demonstrationskasten*
- Magnet
- Hammer
- Schutzhandschuhe, Leder

Chemikalien:

- **Thermit**, 500 g
- **Thermit-Entzündungsstäbchen**



Achtung
H204

Durchführung:  oder im Freien

Mit einer Verschluss-Platte wird das Boden-Loch des Reaktionstiegels bedeckt.

Dann wird der Inhalt der Thermit-Packung eingefüllt. Mit dem Deckel abdecken und die Anordnung nach Anleitung aufbauen.

Entzündungsstäbchen mit Handschuh anfassen, mit dem Hand-Brenner anzünden und zügig durch das Deckel-Loch in das Thermit drücken.

Ein paar Schritte zurücktreten.

Beobachtung: Eine Reaktion findet unter heftiger Feuer-Erscheinung statt.

Auswertung: Bei der Reaktion entsteht flüssiges Eisen:



Deutung: Nach dem Erkalten wird das Produkt durch vorsichtiges Klopfen mit dem umgedrehten Auffang-Tiegel auf eine Unterlage herausgeholt.

Durch Klopfen mit dem Hammer trennt sich die Schlacke vom Regulus.

Mit Hilfe des Magneten wird der Regulus als Eisen identifiziert.

Reaktionstiegel mit Hilfe des beiliegenden Dornes durch das Ausflussloch von der verbliebenen Schlacke reinigen.

Entsorgung: **E3**

Hintergrund: Die Reaktion dient heute noch zum Schweißen von Eisenbahn-Schienen.

Quelle: <https://www.youtube.com/watch?v=IBI4XofGOPQ> 18.11.2020

4.2 Versuch 2: Nickel-Nachweis in Legierung

Etwas Watte wird in Dimethylglyoxim in Ammoniak-Lösung getränkt und anschließend über nickelhaltigen Edelstahl gerieben. Die durch Oxidation von Nickel an der Oberfläche befindlichen Ni^{2+} -Ionen werden komplexiert. Der entstehende Nickel-Dimethylglyoxim-Komplex ist himbeerrot.

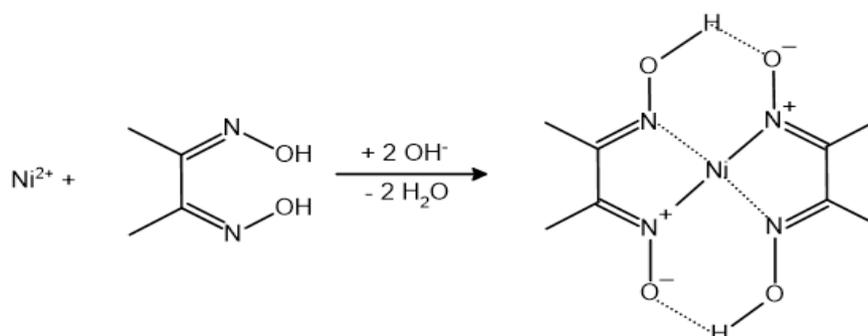


Abb. 8: Reaktion von Dimethylglyoxim mit Nickel-Ionen

4.3 Versuch 3: Brünieren von Stahlteilen

Zeitbedarf: 5 Minuten Vorbereitungszeit, 30 Minuten Durchführung

Kompetenz/Ziel:

F = Umwandlung von Materialien durch chemische Reaktionen

B = Anwendung zum Korrosionsschutz von Stahlgegenständen

Material:

- Erlenmeyerkolben
- Heizrührer
- 2 Bechergläser, 100 ml

Chemikalien:

- Ethanol (70%)
- Essigessenz (Ethansäure)

Durchführung: Die zu behandelnden Stahlteile werden zunächst in Ethanol gewaschen und anschließend in einen Erlenmeyer-Kolben gegeben, der zur Hälfte mit Essigessenz gefüllt ist. Die Essigessenz ca. 30 Minuten erhitzen (100°C).

Beobachtung: Um die Stahlgegenstände hat sich eine schwarze Schicht gebildet, die man nicht abwischen kann.

Deutung: Die im Essig vorhandene Ethansäure reagiert mit dem Eisen im Stahl zu Eisenacetat und Wasserstoff. Eisenacetat hat eine schwärzliche Färbung und schützt den Stahl vor Korrosion.



Entsorgung: Essig und Ethanol wegschütten. Stahlteile verwenden.

Quelle: https://www.youtube.com/watch?v=qmQdDz_oM90, 18.11.2020

4.4 Versuch 4: Hochofen im Kleinformat

Zeitbedarf: 10 Minuten Vorbereitungszeit, 30 Minuten Durchführung

Kompetenz/Ziel:

F: Reduktion von Eisenoxid zu Eisen mit Sauerstoff

B: Anwendung von Heißluftfön an Metalloxiden und Aufbau eines Industrieprozesses im Miniformat

Material:

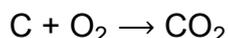
- Tonröhre mit einem Durchmesser von ca. 8 cm und einer seitlichen Öffnung von ca. 1 cm Durchmesser
- 3 Steinplatten
- Heißluftfön
- Hufeisenmagnet

Chemikalien:

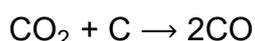
- Kohlestücke
- Fe_2O_3 – Pulver, 20g

Durchführung: Eine Tonröhre mit einem Durchmesser von ca. 8 cm und einer seitlichen Öffnung von ca. 1 cm Durchmesser wird auf mehreren Steinplatten gestellt. Ein Heißluftfön wird in etwa 10 cm Entfernung von der Tonröhre montiert, sodass der Luftstrom genau in die seitliche Öffnung eintritt. Im nächsten Schritt wird die Röhre zu dreiviertel mit Kohle gefüllt. Nachdem auf die Kohlestücke 20 g Fe_2O_3 – Pulver gegeben wurden, wird die Tonröhre vollständig mit Kohle aufgefüllt. Abschließend wird die Röhre von oben mit einer Steinplatte abgedeckt und für 20 bis 30 Minuten ein kräftiger Heißluftstrom durch die Röhre geleitet. Das entstandene Roheisen kann aus der Asche mit einem Hufeisenmagneten abgetrennt werden. [Video 1](#) und [Video 2](#) zeigen die Durchführung des Versuchs.

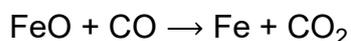
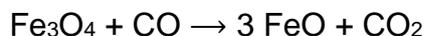
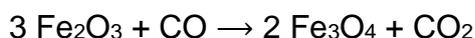
Deutung: Durch die Hitzezufuhr entsteht aus den Kohlestücken Kohlenstoffdioxid.



Wegen der hohen Temperatur reagiert das entstandene Kohlenstoffdioxid mit der Kohle, wodurch das Reduktionsmittel Kohlenstoffmonooxid gebildet wird.



Diese reduziert das Eisenoxid zu Eisen.



Diese können von der Asche mit einem Hufeisenmagneten geborgen werden, wie in [Video 3](#) gezeigt.

Entsorgung: hergestelltes Eisen weiterverwenden. Übrige Kohle in die Feststofftonne entsorgen.

Quelle: Kurz, P.; Stock N.: Synthetische Anorganische Chemie, DeGruyter, Berlin/Boston, 2013, Seite 91 f.

Zusammenfassung 1: Hinter dem Sammelbegriff „Stahl“ verbergen sich eine Vielzahl in ihren Bestandteilen und Eigenschaften unterschiedliche Werkstoffe, deren Hauptbestandteil jedoch stets Eisen ist und die uns durch ihren vielfältigen Einsatz den Alltag erleichtern. Die Herstellung von Stahl und Edelstahl erfolgt ausgehend von Eisenerzen, aus denen im Hochofenprozess Roheisen gewonnen wird. Während des Frischens werden störende Begleitelemente mithilfe von Sauerstoff aus dem Roheisen entfernt. Anschließend erfolgt die Aufarbeitung, woraus verschiedene Arten, wie unlegierte und legierte Stähle, hergestellt werden. Rostfreie Stähle werden so legiert, dass sie mindestens einen Chromanteil von 10,5 % aufweisen. Edelstahl bezeichnet nur die Reinheit des Stahls und nicht die Rostfreiheit. Will man rostfreien Edelstahl, muss man ihn mit einer Schutzschicht versehen. Das entsprechende Verfahren hierfür heißt Brünieren. Iron Man wird seinem Image als Superheld bisher nicht gerecht, da bei der Produktion seiner Rüstung Unmengen an Kohlenstoffdioxid im Hochofenprozess ausgestoßen werden. Grund hierfür ist das Reduktionsmittel CO. Für Iron Man besteht jedoch noch Hoffnung, sich als Retter der Menschheit zu beweisen. Wasserstoff ist dafür eine mögliche Option. Denn wenn Iron Man zukünftig seine Rüstung durch das direkte Reduktionsverfahren herstellt, entsteht bei der Produktion nur Wasser als Nebenprodukt. Iron Man muss jedoch darauf achten, dass der verwendete Wasserstoff durch erneuerbare Energien produziert wurde.

Abschluss 1: *Die Entwicklung der Herstellungsverfahren und Raffinationsprozesse haben sich in den letzten Jahrtausenden stets weiterentwickelt und werden dies in Zukunft auch weiter tun.*

Abschluss 2: *Für die Ammoniak-Synthese wird ein kohlenstoffarmer Stahl benötigt, womit eine Reaktion mit Wasserstoff zu Methan verhindert werden kann, doch ist Stahl mit so einem geringen Kohlenstoffgehalt leicht verformbar und eignet sich somit nicht, um hohen Drücken standzuhalten. Beim Haber-Bosch-Verfahren kommen deshalb wasserstoff- und druckbeständige Chrom-Molybdän-Stähle zum Einsatz.*

Abschluss 3: *Die Behauptung meiner Mitbewohner konnte in diesem Vortrag widerlegt werden. Edelstahl bezeichnet demzufolge nur die Reinheit des Stahls, wobei ein Gehalt an 0,025% an Phosphor und Schwefel im Stahl nicht überschritten werden darf, um als Edelstahl zu gelten. Die Rostfreiheit im Stahl wird jedoch durch einen Chromanteil von 10,5% oder durch das Erzeugen einer Schutzschicht erreicht. Nachdem meine Mitbewohner mit diesen Argumenten konfrontiert werden konnten, zeigten sie Einsicht und versicherten, dass sie das Putzen in Zukunft nicht mehr übertreiben werden oder geeignetere Putzmittel verwenden werden. Ich hoffe jedoch trotzdem, dass sie das Putzen nicht ganz aufgeben, damit unsere Wohnung nicht bald zu einem dreckigen „Saustall“ wird.*

Abschluss 4: *Es gibt schon einzelne Stahlunternehmen, die DRI-Anlagen betreiben. In Schweden wurde beispielsweise 2016 von einer Kooperation des Stahlkonzerns SSAB, der Bergwerksgesellschaft LKAB und des Energieunternehmens Vattenfall das Gemeinschaftsprojekt HYBRIT (Hydrogen Breakthrough Ironmaking Technology) ins Leben gerufen, welches als Vorreiter für grüne Stahlproduktion gilt [17].*

Quellen:

1. <https://pixabay.com/de/deutschland-duisburg-landschaftpark-1883998/>; (13.06.2017); Lizenz: CC0 Public Domain
2. <https://pixabay.com/de/besteck-stahl-elegant-1969813/> ; (13.06.2017); Lizenz: CC0 Public Domain
3. https://www.edelstahl-rostfrei.de/fileadmin/user_upload/ISER/downloads/MB_822.pdf, 24.11.2020
4. Holleman, Arnold F./Wiberg, Nils, Lehrbuch der Anorganischen Chemie, DeGruyter, Berlin 2007
5. http://www.polyme.ch/raten/wt_03/wt3_0/12legelemente.htm , 24.11.2020
6. <https://www.stahl-online.de/index.php/service/stahlerzeugung/>, 24.11.2020
7. <https://www.cgahrens.de/hinweise-anleitungen/11-edelstahl-sorten>, 24.11.2020
8. <https://www.hausjournal.net/stahl-oder-edelstahl>, 24.11.2020
9. <https://www.comparial.com/de/stahleigenschaften/chemische-zusammensetzung>, 24.11.2020
10. <https://www.chemie.de/lexikon/Siemens-Martin-Ofen.html>, 24.11.2020
11. <https://www.hausjournal.net/stahlsorten>, 24.11.2020
12. <https://www.ingenieurkurse.de/fertigungslehre/urformen/verfahren-zur-gewinnung-von-metallen/stahlerzeugung/stahlerzeugungsverfahren-frischen.html>, 24.11.2020
13. [https://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/Herdfrischverfahren?lang=de#:~:text=Wenn%20man%20aus%20Roheisen%20Stahl,des%20Eisens%20verringern%20\(Frischen\).&text=Bei%20den%20Herdfrischverfahren%20wird%20der,Form%20von%20Schrott%20und%20Erz](https://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/Herdfrischverfahren?lang=de#:~:text=Wenn%20man%20aus%20Roheisen%20Stahl,des%20Eisens%20verringern%20(Frischen).&text=Bei%20den%20Herdfrischverfahren%20wird%20der,Form%20von%20Schrott%20und%20Erz). 24.11.2020
14. <https://www.stahl-online.de/index.php/themen/stahlanwendung/stahl-im-alltag/>, 24.11.2020
15. <https://www.mineralicon.de/> 26.11.2020
16. Jaroni, S.: Industrielle Prozesse. Naturwissenschaften im Unterricht, Heft 186, 2021, Seite 8 f.
17. <https://www.hybritdevelopment.se/en/a-fossil-free-future/>, 04.07.2023