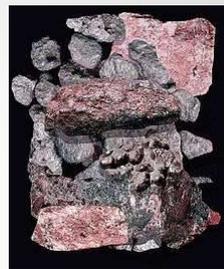


Herstellung von Eisen & Stahl

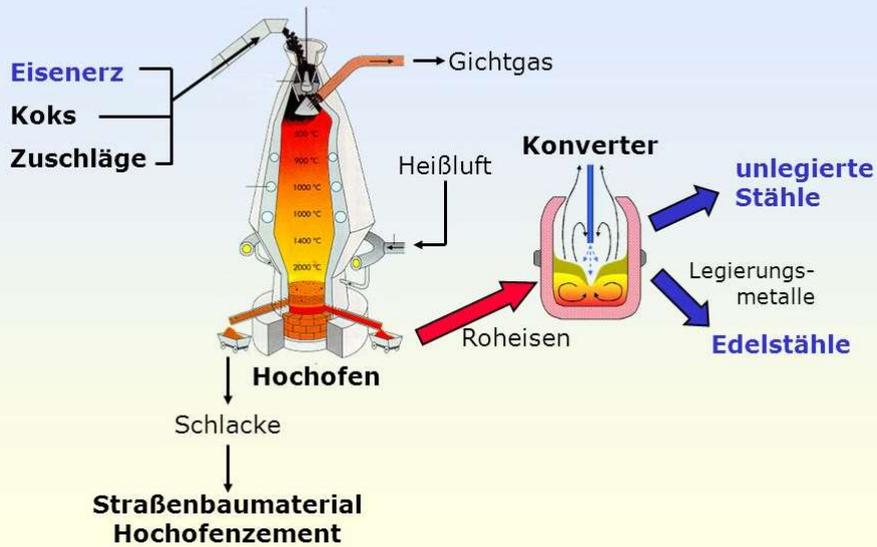
Heinz Ruhe

Werkstoff - Eisen

Wegen seines unedlen Charakters, kommt Eisen in der Natur nicht rein sondern nur chemisch gebunden vor. Eisen/Sauerstoffverbindungen versetzt mit mineralischen Bestandteilen sind der Grundstoff. Diese gilt es zu trennen, um hochwertigen Stahl herstellen zu können.

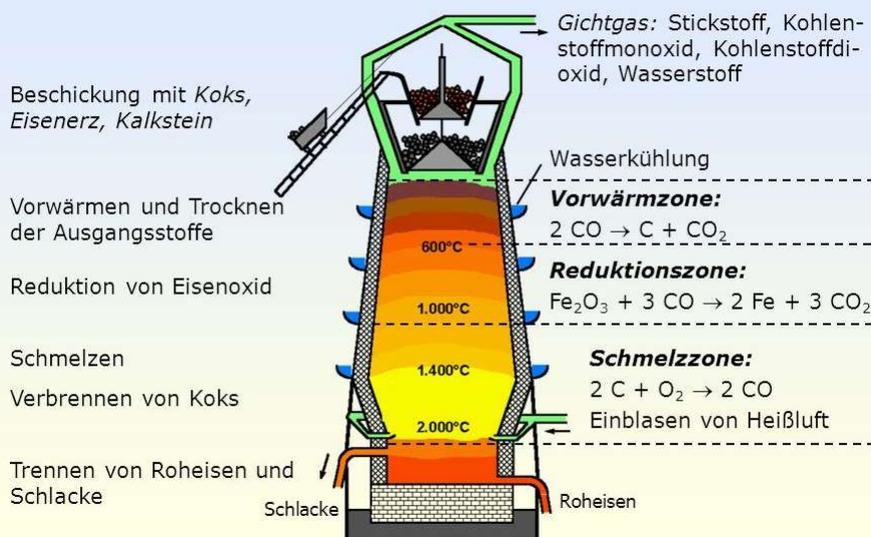


Vom Eisenerz zum Stahl

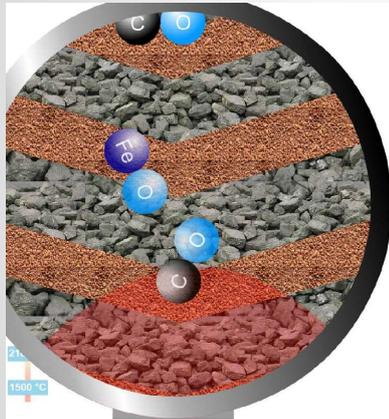


Werkstoff - Eisen

Funktion eines Hochofens



Werkstoff - Eisen



Indirekte Reduktion

Im Bereich der sog. indirekten Reduktion gibt das Eisenerz die Sauerstoffatome an das von unten aufströmende CO ab, das dadurch zu CO₂ oxidiert wird. Das dabei gebildete Eisen rutscht nach unten, bis es durch die höheren Temperaturen schmilzt.

4

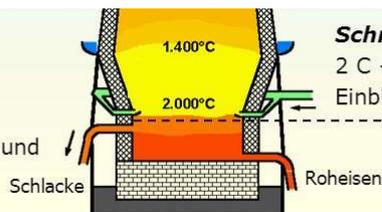
Werkstoff - Eisen

Das entstandene Eisen sinkt nach unten und mischt sich in der Kohlunzone mit Kohlenstoff. Dieses Gemisch besitzt einen Schmelzpunkt von ca. 1200 °C, reines Eisen dagegen besitzt einen Schmelzpunkt von 1535 °C. Das Roheisengemisch wird in der Schmelzzone flüssig und sammelt sich aufgrund seiner hohen Dichte im untersten Teil des Hochofens. Die Zuschläge bilden mit den Verunreinigungen des Eisenerzes eine flüssige Schlacke. Sie schwimmt auf dem Roheisen und schützt es vor der Reaktion mit Sauerstoff. Flüssige Schlacke und flüssiges Eisen werden über Abstichöffnungen abgelassen und so getrennt.

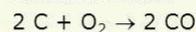
Schmelzen

Verbrennen von Koks

Trennen von Roheisen und Schlacke



Schmelzzone:

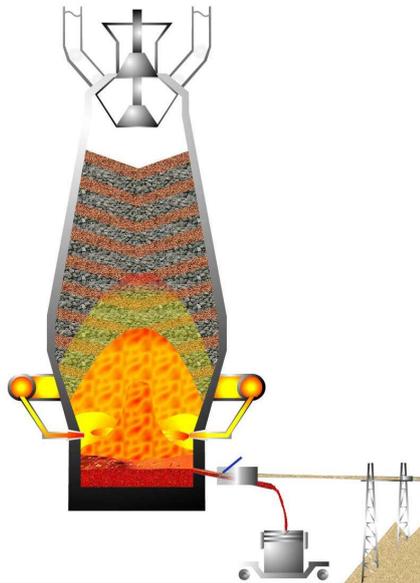


Einblasen von Heißluft

Schlacke

Roheisen

Werkstoff - Eisen



Abstich von Roheisen und Schlacke

Das flüssige Roheisen sammelt sich auf dem Boden des Hochofens. Die Schlacke, die sich durch die Umsetzung der Gangart mit den Zuschlägen gebildet hat, schwimmt auf dem Roheisen. Roheisen und Schlacke werden alle 2 bis 4 Stunden abgestochen.

Werkstoff - Eisen

Mischer

Der Mischer hat im wesentlichen drei Aufgaben:

- Sammelbehälter für das Stahlwerk
- Mischung der nie ganz gleichen Abstiche
- Schwefelverminderung (fortlaufende langsame Umsetzung von $Mn + FeS$ zu $MnS + Fe$. MnS ist leichter als Fe und setzt sich in der Schlacke ab.

Dies wird beschleunigt durch die Zugabe von SODA, Calciumcarbid oder Magnesium.

Zusätze zur Reduzierung des Phosphors (kalkhaltige Flussmittel) oder Silizium (FeO) sind möglich.

Die gebundenen Stoffe schwimmen dann auf und können als Schlacke abgegossen werden.

Roheisen

Das entstehende Roheisen (1320 °C) enthält:

3 .. 5% C, 0,2 .. 2% Si, 0,2 .. 3% Mn,
0,1 .. 2% P, 0,02 .. 0,06% S

Das Roheisen dient zum einen als Vormaterial für Stahl für Knet- und Gusswerkstoffe, zum anderen bildet es die Grundlage für die Produktion von Gusseisen. In Form von Masseln wird das Roheisen zusammen mit Schrott, Gussbruch und eventuellen weiteren Zusätzen in den Gießereien zu Gusseisen umgeschmolzen. Unter Gusseisen wird jedes in Formen vergossene Eisen mit 2 bis 4% Kohlenstoff verstanden, das keiner Umformung mehr unterworfen wird. Wichtigstes Unterscheidungsmerkmal der verschiedenen Gusseisensorten ist die Form der im Grundgefüge eingelagerten Graphitteilchen. Man unterscheidet u. a. zwischen Gusseisen mit Lamellengraphit (GGL), mit Kugelgraphit (GGG) und dem Temperguss. Letztere ist dadurch gekennzeichnet, dass der im Gusszustand als Eisenkarbid vorliegende Kohlenstoff durch anschließendes längeres Glühen – dem Tempern – ganz oder teilweise in Temperkohle zerfällt. Der Graphit liegt hierbei in Flockenform vor. Wird die Glühung entkohlend durchgeführt, so entsteht ein aufgrund des Aussehens der Bruchfläche als weißer Temperguss bezeichnetes Material. Im Gegensatz hierzu spricht man vom schwarzen Temperguss bei nicht entkohlend durchgeführter Glühung. Der schwarze Temperguss ist weiter verbreitet als der weiße.

Damit aus dem Roheisen Stahl wird, müssen die Gehalte an diesen Elementen deutlich gesenkt werden. Hierauf wird im folgenden näher eingegangen.

Werkstoff - Eisen

Fruschen

Die Weiterverarbeitung vom Roheisen zum Stahl nennt man Fruschen. Mit diesem Prozess sollen der Kohlenstoff und die Eisenbegleiter auf ein Maß reduziert werden, wie sie für Stahl typisch sind. Alle gebräuchlichen Verfahren beruhen mehr oder weniger auf der Tatsache, dass das Roheisen zum kochen gebracht wird, und Sauerstoff die unerwünschten bzw. überschüssigen Elemente oxidiert. Dies geschieht über eine Schlackeschicht, die mehrere Funktionen erfüllt:

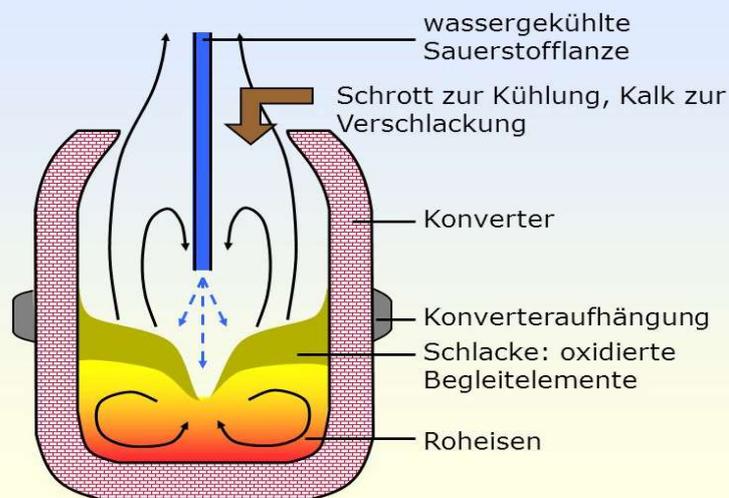
- bilden von FeO auf dem Roheisen, das dann den Kohlenstoff und die anderen Elemente im Roheisen oxidiert
- durch Zusatz von Kalk ist die Schlacke in der Lage die unerwünschten Begleitelemente (P, Mn, Si) in Form von flüssigen Oxidationsprodukten zu binden.

Aufgrund der größeren Affinität zu Sauerstoff werden zunächst Si und Mn verbrannt. Das ist für die Stahlherstellung ungünstig, da für den herzustellenden Stahl ein gewisser Prozentsatz (z.B. Si Mn) erforderlich ist; und deshalb später wieder zulegiert werden muss. Anschließend verbrennt C zu CO, das durch Blasenbildung das Bad weiter in Bewegung bringt, und schließlich Phosphor. Dieser Ablauf ist natürlich nicht so zu verstehen, dass die Oxidation des Kohlenstoffes erst dann beginnt, wenn Si und Mn vollständig verbrannt sind. Es finden in Abhängigkeit von Temperatur und Dauer Überschneidungen statt. Wenn der Gehalt an Kohlenstoff oder Phosphor (0.08 %) zu stark absinkt, muss der Prozess abgebrochen werden, da die Gefahr des Überfruschens besteht (Fe verbrennt und Sauerstoff im Bad => der Prozess wird unwirtschaftlich und die Stahlqualität schlecht).

8

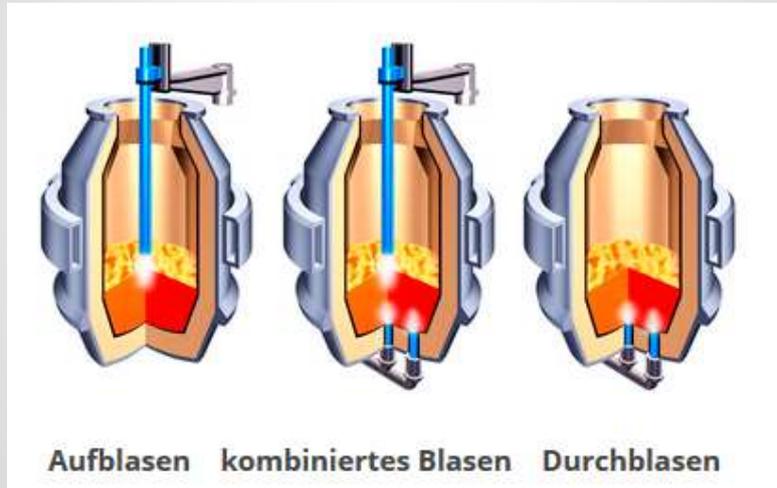
Werkstoff - Eisen

Sauerstoffblas-Verfahren



Werkstoff - Eisen

Verschiedene Blasverfahren



10

Werkstoff - Eisen

1. Begriffserklärung für Stahl



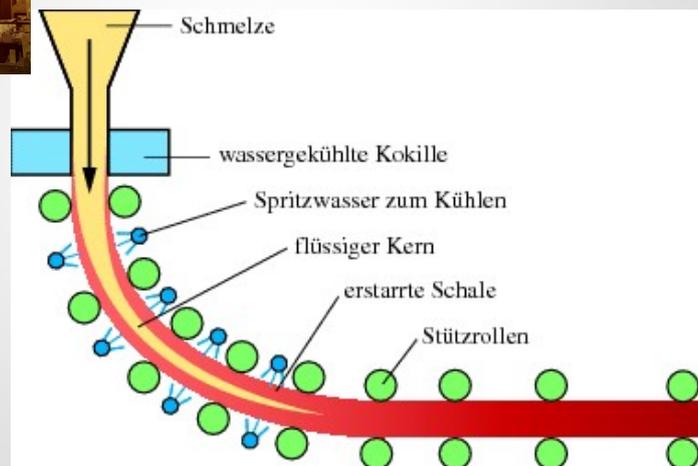
Die DIN EN 10020 definiert:

Als Stahl werden Werkstoffe bezeichnet, deren Massenanteil an Eisen größer ist als der jedes anderen Elementes und die im allgemeinen weniger als 2 % C aufweisen und andere Elemente enthalten. Einige Chromstähle enthalten mehr als 2 % C. Der Wert von 2 % wird jedoch im allgemeinen als Grenzwert für die Unterscheidung zwischen Stahl und Gusseisen betrachtet.

Zur Beurteilung der Eigenschaften eines Stahles ist letztlich die Analyse neben dem Wärmebehandlungszustand entscheidend. Dabei können die Wirkungen der einzelnen Elemente wie folgt beschrieben werden.

11

Werkstoff - Eisen



Werkstoff - Eisen

Sekundärmetallurgie

Unter der Sekundärmetallurgie bei der Stahlherstellung wird eine Nachbehandlung von Stahl verstanden mit dem Ziel, die Qualität des entsprechenden Werkstoffes zu erhöhen. Dabei können folgende metallurgische Maßnahmen zur Anwendung kommen:

- Einstellung der Legierung
- Homogenisierung von Temperatur und Legierungszusammensetzung
- Entfernung von Kohlenstoff, Schwefel, Phosphor oder Spurenelementen
- Entgasung
- Desoxidation
- Verbesserung des Reinheitsgrades
- Einstellen des Erstarrungsgefüges

Um diese Maßnahmen durchzuführen, werden unter anderem die Vakuumentgasung in den unterschiedlichsten Modifikationen eingesetzt, eine Spülgasbehandlung über Spülsteine oder Lanzen oder eine Injektion von Feststoffen über Lanzen angewandt bzw. allgemein Legierungselemente, Desoxidationsmittel oder Schlackenbildner der Metallschmelze zugegeben.

Die Verfahren der Sekundärmetallurgie sind sehr zahlreich und vielfach miteinander kombinierbar, so dass die für die Herstellung bestimmter Stahlgüten erforderlichen prozesstechnischen Abläufe exakt eingestellt werden können.

Im folgenden werden einige der Verfahren der Nachbehandlung kurz beschrieben.

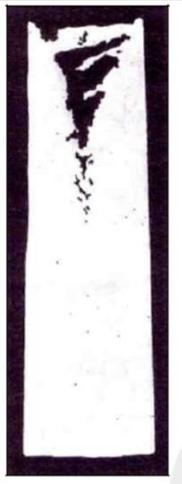
Werkstoff - Eisen

Beim Abkühlen bzw. Erstarren einer Metallschmelze verringert sich die Löslichkeit des Sauerstoffes in der Schmelze, so dass dieser mit dem ebenfalls vorhandenen Kohlenstoff zu Kohlenmonoxid reagiert. Durch das Entweichen dieses Gases entsteht eine Art Kochen der Schmelze, der Stahl erstarrt unberuhigt. Als Folge hieraus stellt sich ein Gefüge über den Querschnitt des erstarrten Stahlblockes derart ein, dass sich an der Blockoberfläche eine relativ saubere, dichte Randschicht, die sogenannte Speckschicht, bildet. Hieran schließt sich eine mit Blasen durchsetzte Zone an. Zur Mitte des Blockes hin reichert sich die verbleibende Restschmelze an unerwünschten Elementen wie Schwefel oder Phosphor an und es entstehen Seigerungen. Dieser Seigerungseffekt führt zu örtlichen Schwefel- bzw. Phosphorgehalten im Stahl, die ein fehlerfreies Schweißen des Stahles erschweren bzw. verhindern.

Durch eine Desoxidation wird die Bildung von Kohlenmonoxid und damit das Kochen der Schmelze weitgehend bzw. vollständig unterbunden, so dass auch die entsprechenden Seigerungen reduziert bzw. vermieden werden. Der Stahl erstarrt beruhigt ohne die Bildung von Blasen. Im Gegensatz zum unberuhigt vergossenen Stahl verringert sich bei beruhigt erstarrendem Block das Volumen, so dass am Kopf des Blocks Schwindungshohlräume bzw. Lunker auftreten können, die das Ausbringen verschlechtern.

14

Werkstoff - Eisen



Schnitt durch einen unberuhigt vergossenen Stahlblock

unberuhigter Stahl G1

Durch die Abkühlung von Außen nach Innen reagieren der Sauerstoff mit dem Kohlenstoff und „kochen“ in der Mitte weiter. Diese von unerwünschten Bestandteilen durchsetzte Zone nennt man Seigerung.

beruhigter Stahl G2

Durch Desoxidation mit Mangan Silizium Aluminium, wird dieses „kochen“ unterbunden und der Stahl kommt rein und ohne Einschlüsse zur Verwendung.



Auswirkung von Seigerung

15

Werkstoff - Eisen

Tabelle 1: Grenzgehalte für die Einteilung in unlegierte und legierte Stähle

vorgeschriebene Elemente	Grenzgehalt Massenanteil in %	
Al	Aluminium	0,10
B	Bor	0,0008
Bi	Wismut	0,10
Co	Kobalt	0,10
Cr	Chrom ¹⁾	0,30
Cu	Kupfer ¹⁾	0,40
La	Lanthanide (einzelnen gewertet)	0,05
Mn	Mangan	1,65 ³⁾
Mo	Molybdän ¹⁾	0,08
Nb	Niob ²⁾	0,06
Ni	Nickel ¹⁾	0,30
Pb	Blei	0,40
Se	Selen	0,10
Si	Silizium	0,50
Te	Tellur	0,10
Ti	Titan ²⁾	0,05
V	Vanadium ²⁾	0,10
W	Wolfram	0,10
Zr	Zirkon ²⁾	0,05
Sonstige (mit Ausnahme von Kohlenstoff, Phosphor, Schwefel, Stickstoff) jeweils		0,05

- 1) Wenn für den Stahl zwei, drei oder vier durch diese Fußnote gekennzeichneten Elemente vorgeschrieben und deren maßgeblichen Gehalte kleiner als die in der Tabelle angegebenen Grenzgehalte sind, so ist für die Einteilung zusätzlich ein Grenzgehalt in Betracht zu ziehen, der 70 % der Summe der Grenzgehalte der zwei, drei oder vier Elemente beträgt.
- 2) Die in Fußnote 1 angegebene Regel gilt entsprechend auch für die mit Fußnote 2 gekennzeichneten Elemente.
- 3) Falls für den Mangan Gehalt nur ein Höchstwert angegeben ist, gilt als Grenzgehalt 1,80 Gewichtsprozent.

Kennzeichen

Zum Beispiel: C 15 = unlegierter Einsatzstahl mit 0,15 % C (nach DIN 17210, zukünftig: EN 10084),
 C 45 = unlegierter Vergütungsstahl mit 0,45 % C (nach DIN EN 10083 Teile 1 und 2).
 „C“ mit dem mittleren Kohlenstoffgehalt x 100 (Kohlenstoffkennzahl).

16

Werkstoff - Eisen

4. Werkstoff-Kennzeichnung nach der Streckgrenze

Warmgewalzte Erzeugnisse aus unlegierten Baustählen nach DIN EN 10025

Zum Beispiel: Stahl EN 10025 - S355 J2G3 C (DIN 17100: QSt 52-3)

S355 = Mindestwert der Streckgrenze von 355 N/mm² für Dicken < 16 mm.

J2G3 = Kennzeichen für die Gütegruppe im Hinblick auf die Schweißignung und die Kerbschlagarbeit. Eine Übersicht der Gütegruppen gibt

Tabelle 3 wieder.

C = Eignung zum Kaltbiegen, Abkanten, Kaltflanschen oder Kaltbördeln.

Tabelle 3: Gütegruppen nach DIN EN 10025

Gütegruppe	JR	J0	J2G3	J2G4	K2G3	K2G4
Wärmebehandlung	frei	frei	N	frei	N	frei
Temperatur	+ 20 °C	0 °C	- 20 °C	- 20 °C	- 20 °C	- 20 °C
Kerbschlagarbeit	27 J	27 J	27 J	27 J	40 J	40 J

N = normalgeglüht oder normalisierend gewalzt.

Werkstoff - Eisen

Hauptsymbole nach DIN EN 10027 Teil 1

Die Hauptsymbole setzen sich aus einem Buchstaben als Hinweis auf die Verwendung des Stahles und der Beschreibung der Eigenschaften des Werkstoffes zusammen. Hier nun einige Buchstabenbeispiele:

S = Stähle für den allgemeinen Stahlbau,

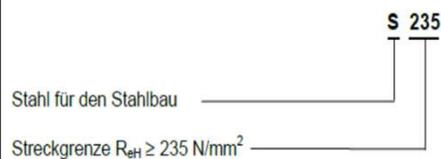
P = Stähle für den Druckbehälterbau,

L = Stähle für den Rohrleitungsbau,

E = Maschinenbaustähle,

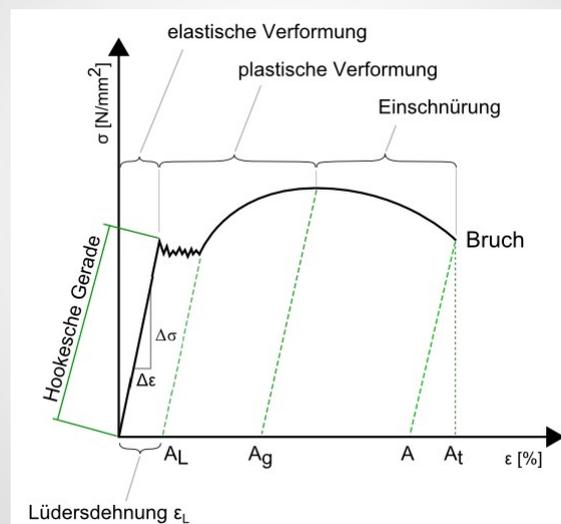
B = Betonstähle.

Nach diesen Buchstaben folgt zur Beschreibung der Eigenschaften eine Zahl, die dem Mindeststreckgrenzenwert in N/mm^2 entspricht. Zur Veranschaulichung nun ein Beispiel:



Werkstoff - Eisen

Spannungs- Dehnungs- Diagramm

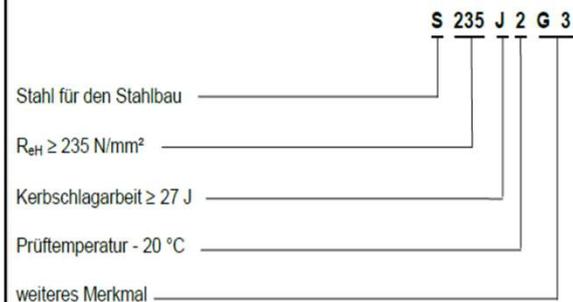


Werkstoff - Eisen

Zusammenfassung der Hauptsymbole und der Zusatzsymbole

Stellvertretend für den Aufbau des Bezeichnungssystems nach DIN EN 10027 Teil 1 und der CR 10260 ist in der nachfolgenden Tabelle 4 die Stahlgruppe „Stähle für den Stahlbau“ wiedergegeben.

Nach dieser Systematik wird der gut bekannte Stahl St 37-3 N (nach DIN 17100) in der neuen Ausgabe der DIN EN 10025 „Warmgewalzte Erzeugnisse aus unlegierten Baustählen“ folgendermaßen benannt:



Werkstoff - Eisen

(G)X NNN AA

z.B. S690QL1
S460NH
P460NH

Hauptsymbole	Eigenschaft	Anhang
B: Betonstähle	R_{eH}	A: Ausscheidungsgehärtet(S)
C: Kohlenstoff (-stähle)	C-Gehalt in 0,01%	B: Gasflaschen (P) Bake hardening (H)
D: Flacherzeugnisse zum Umformen	C: kaltgewalzt D: für Kaltverformung X: keine Walzart vorgegeben	C: Besonders kaltumformbar Kaltgezogener Draht (Y)
E: Maschinenbaustähle	R_{eH}	Cr: Hoher Cr-Gehalt (R)
G: Stahlguss (Option)	---	D: Schmelzüberszüge Zum Drahtziehen (C)
H: Kaltgewalzte Flacherzeugnisse zum Kaltumformen	R_{eH}	E: Emaillierung S_{max} begrenzt (C)
L: Stähle für Rohrleitungsbau	R_{eH}	EK: Konventionelle Emaillierung (D)
M: Elektroblech	Tesla	ED: Direkte Emaillierung (D)
P: Stähle für Druckbehälter	R_{eH}	F: Schmiedegeeignet
R: Schienenstähle	R_m	G: Andere Güten (Option)
S: Stähle für den Stahlbau	R_{eH}	H: Hohlprofile Für Hochtemperatur (P) Warmgezogen/vorgespannt (Y)
T: Feinst- u. Weißblech	HR: einfach reduziert R_{eH} : doppelt reduziert	J: KV = 27 J
Y: Spannstähle	R_m	K: KV = 40 J
		L: Kaltzäh (Feinkornbaustähle) KV = 60 J (Baustähle)

Werkstoff - Eisen

1. 01 16

Werkstoffhauptgruppennummer 1 = Stahl

Stahlgruppennummer
01 = Allgemeine Baustähle mit $R_m < 500 \text{ N/mm}^2$

Zählnummer festgelegt für S235 J2G3 nach
DIN EN 10025 (nach DIN 17100: St 37-3N)

1. 45 71

Werkstoffhauptgruppennummer 1 = Stahl

Stahlgruppennummer
45 = Nichtrostende Stähle mit Sonderzusätzen

Zählnummer festgelegt für X 6 CrNiMoTi 17-12-2
nach prEN 10088 (DIN 17440)

22

Werkstoff - Eisen

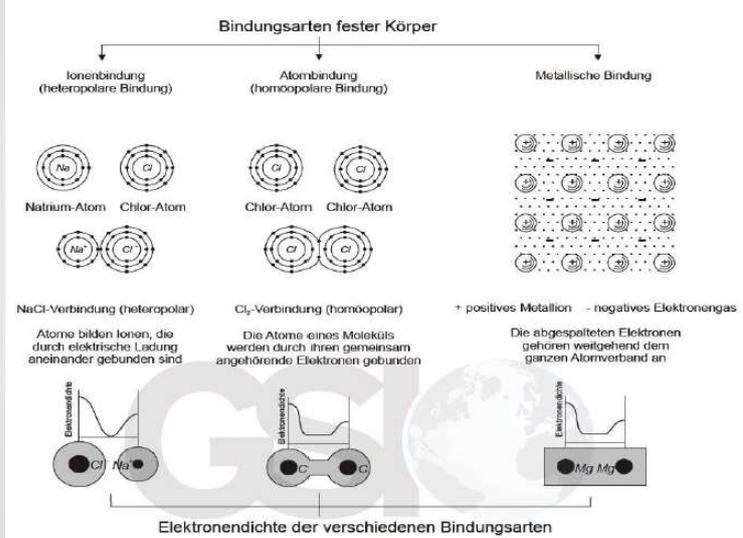


Bild 1: Die Bindungsarten fester Körper

23

Werkstoff - Eisen

Einige Metalle weisen in Abhängigkeit von der Temperatur unterschiedliche Gitterstrukturen auf, sogenannte allotrope Modifikationen. Mit der tiefsten Temperatur beginnend werden den Modifikationen die Buchstaben des griechischen Alphabetes zugeordnet (Beispiel: α - bis δ -Eisen).

Die Gitterstrukturen von Metallen können mit Hilfe von Röntgenstrahlen z.B. durch Diffraktometeraufnahmen bestimmt werden.

Unter der Wirkung ausreichend hoher Schubspannungen können sich einzelne Kristallbereiche als Gleitpakete gegeneinander sprunghaft in einem Zuge um viele Atomlagen verschieben. Dieser als plastische Umformung bezeichnete Vorgang führt zu einer bleibenden Verformung. Wird die kritische Spannung (Fließ- oder Streckgrenze) dagegen nicht erreicht, so werden die Atome zwar voneinander entfernt, jedoch erfolgt keine Trennung bzw. Gleitung (Translation). Die elastische Rückstellkraft wird nicht überwunden, die Atome kehren bei Entlastung in ihre Gleichgewichtslage zurück. Dieser Vorgang wird als elastische Umformung bezeichnet.

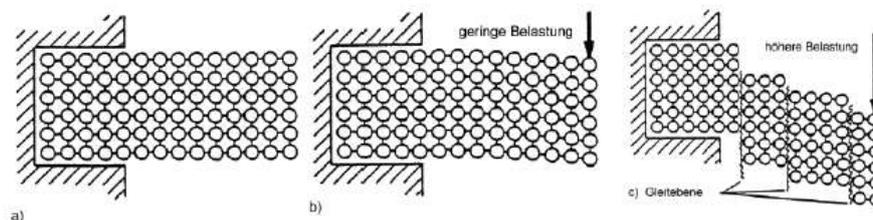


Bild 3: Elastische – plastische Umformung am Beispiel eines Biegestahles

Werkstoff - Eisen

4. Gitterstörungen

Bei der Erstarrung eines Metalls oder einer Metalllegierung erfolgt die Kristallisation dadurch, dass sich die Atome in einer möglichst dichten Packung anordnen. Erste Kristallisationskeime vergrößern sich bei entsprechender Wärmeabfuhr, bis ein Gefüge aus unterschiedlich orientierten Körnern oder Kristalliten entsteht. Jedes der Körner umfasst für sich eine dreidimensionale periodische Anordnung von Atomen, stellt also ein Raumgitter dar. Man spricht von Vielkristallen. Homogene Vielkristalle besitzen nur eine Kornart, heterogene dagegen mehrere. Gleichartige Körner sind durch Korngrenzen, ungleichartige durch Phasengrenzen voneinander getrennt.

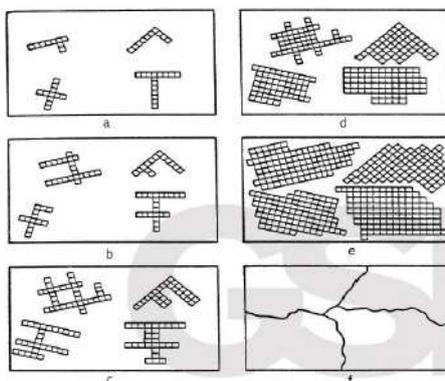


Bild 5: Schematische Darstellung der Erstarrung einer Metallschmelze

Werkstoff - Eisen

⇒ **Substitutions-Mischkristalle:** Die Matrixatome werden durch die Fremdatome ersetzt (substituiert), diese befinden sich somit auf regulären Gitterplätzen. Dabei können sich die Atome über den gesamten Konzentrationsbereich austauschen (vollständige Löslichkeit). Voraussetzung sind jedoch ein gleicher Gittertyp (isotyp) und ähnliche Atomdurchmesser (Differenz kleiner als ~15%). Beispiele hierfür sind die Systeme Cu-Ni und Cu-Au. Meistens liegt jedoch eine eingeschränkte Löslichkeit vor wie z. B. beim System Cu-Zn.

⇒ **Einlagerungs-Mischkristalle (Interstitielle MK):** Die Fremdatome besetzen Zwischengitterplätze. Es ist nur eine beschränkte Löslichkeit möglich, und diese auch nur, wenn das Verhältnis der Radien von Fremd- zu Matrixatom $\sim 0,59$ nicht überschreitet. Außerdem müssen Gitterlücken in ausreichender Größe in der Matrix vorliegen. Beispiel für diese Mischkristalle ist die Einlagerung von C, N, B oder O in Eisen.

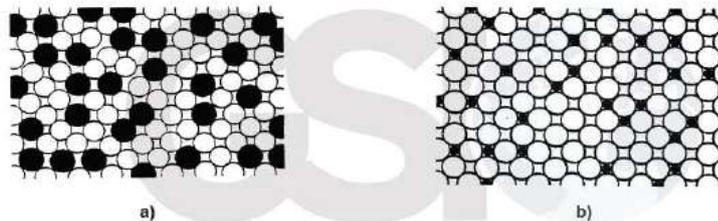
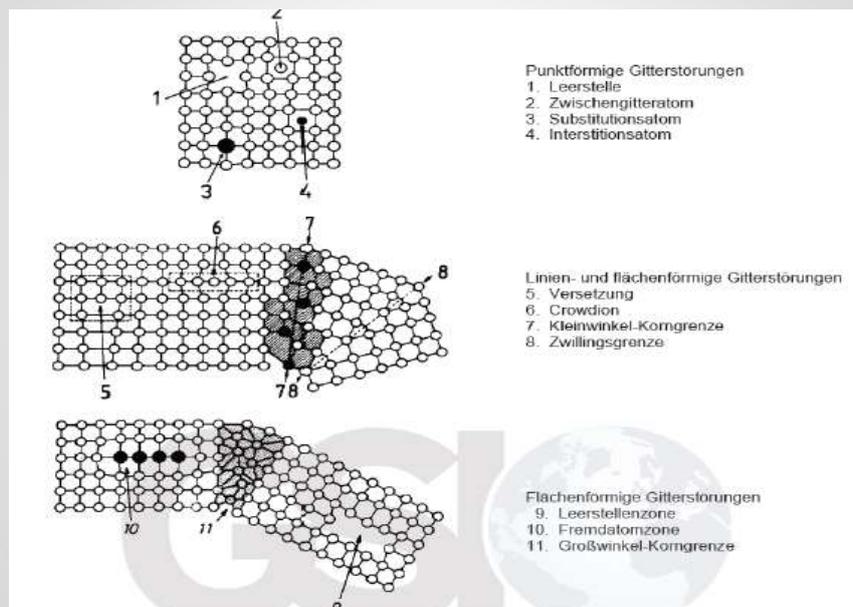


Bild 7: Schematische Darstellung von Substitutions-Mischkristallen [a] und Einlagerungs-Mischkristallen [b]

Werkstoff - Eisen



Werkstoff - Eisen

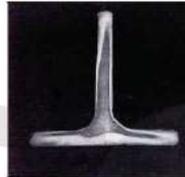
Der Verlauf von Seigerungszone über den Querschnitt eines Stahlblocks, -bleches oder -profils kann mit Hilfe eines Schwefelabdruckes nach Baumann oder durch das Heynsche Ätzmittel sichtbar gemacht werden. Hierauf wird in den metallographischen Übungen noch im einzelnen eingegangen.



Seigerungen Profil im Kopf einer Schienenschraube



Seigerungen in einem U-



Beispiel für Seigerungen in verschiedenen Walzerzeugnissen

Werkstoff - Eisen

Kehlnähte:

a) Verfahren mit geringem Ein-

durch Schweißen aufgeschmolzen Seigerung

Schweißgut vermischt mit aufgeschmolzenem, geseigertem Grundwerkstoff.

Ausklinken der Stegauseifung verhindert S- und P-Anreicherung des Schweißgutes. Variante b) brauchbar, c) konstruktiv besser (teurer), weil durch „Schließen“ der Steg- und Gurnähte Anfangs- und Endkrater nicht entstehen

a) Seigerung

b)

c)

a)

b)

c)

29

Werkst

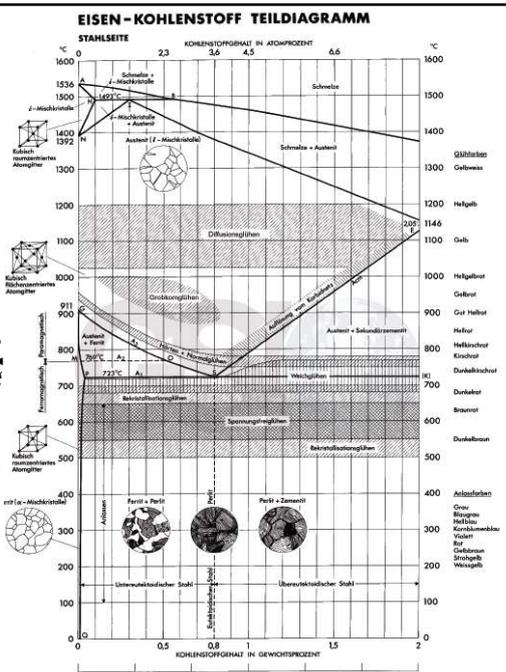
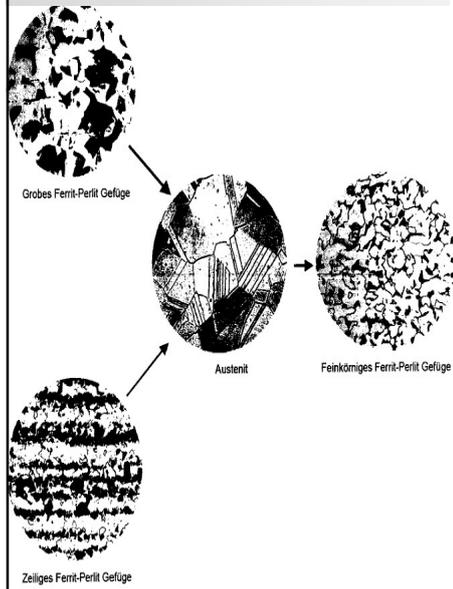


Bild 2: Auszug Eisen - Kohlenstoff - Zustandsdiagramm

Werkstoff - Eisen

Glühen:

Das Glühen hat den Zweck, durch eine gezielte Behandlung, bestimmte Verarbeitungseigenschaften wie z.B. Zerspanbarkeit und/oder Gebrauchseigenschaften wie z.B. Kaltumformbarkeit zu erzielen. Die Änderung der Werkstoffeigenschaften wird im Wesentlichen erreicht durch:

- Umwandlung von Gefügebestandteilen
- Änderung der Größe, Form, und Anordnung der Gefügebestandteile, nicht jedoch ihrer Art
- Abbau von inneren Spannungen und Änderung ihrer Verteilung

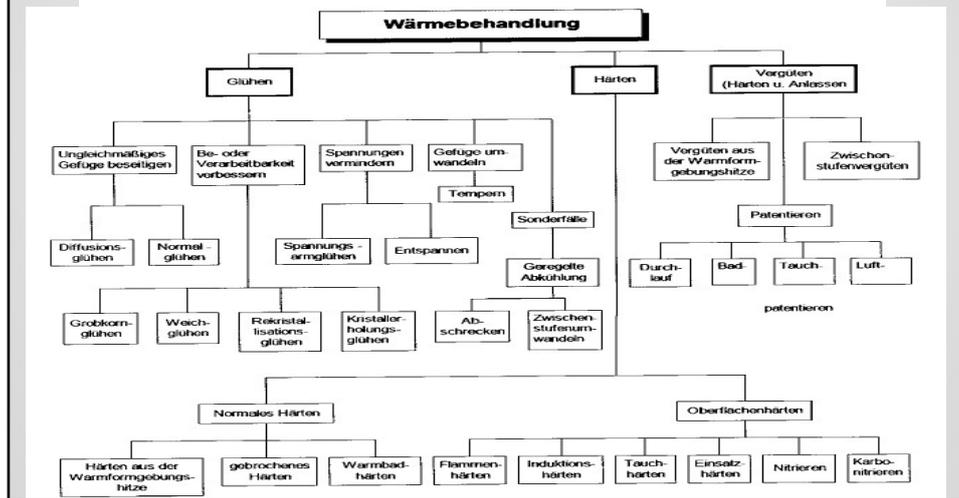
Um die geforderten Werkstoffeigenschaften einzustellen, stehen Glühbehandlungen wie aufgeführt zur Verfügung:

Das Glühen beinhaltet das Erwärmen bis auf eine vorgegebene Temperatur, der Solltemperatur, dem Halten auf Temperatur und dem Abkühlen. Während der Erwärmung (Anwärmdauer plus Durchwärmdauer) treten als Folge der Wärmeleitung umso größere Temperaturunterschiede zwischen Werkstückrand und -kern auf, je schneller aufgeheizt wird und je größer die Abmessungen sind. Eine vergleichbar schlechte Wärmeleitfähigkeit, wie sie bei den hochlegierten Stählen vorliegt, verstärkt die Temperaturunterschiede und begünstigt das Auftreten innerer Spannungen. Diese können bereits beim Aufheizen zu Verzug und zu Spannungsrissen führen. Die Aufheizgeschwindigkeit muss aus diesem Grund den Werkstückabmessungen angepasst werden. Gleiches gilt auch beim Abkühlen der Werkstücke.

Werkstoff - Eisen

Härten:

Das Härten hat den Zweck, dem Stahl eine hohe Härte und damit eine hohe Verschleißfestigkeit zu verleihen. Welche Härte man erzielen kann, hängt im Wesentlichen vom Kohlenstoffgehalt des Stahles ab. Das Härten beinhaltet das Austenitisieren und das Abschrecken in einem geeigneten, dem Stahl angepassten Medium.



Werkstoff - Eisen

3. Spannungsarmglühen

Unter Spannungsarmglühen versteht man ein Glühen unterhalb A_{C1} mit anschließendem langsamen Abkühlen, so dass innere Spannungen ohne wesentliche Änderung der anderen Eigenschaften abgebaut werden.

Innere Spannungen können durch ungleichmäßiges Erwärmen oder Abkühlen, d.h. durch verschiedene Wärmedehnungen des Werkstoffs z.B. beim Schweißen, Löten, Erstarren und Abkühlen u.ä. oder durch Kaltumformen entstehen. Aufgrund der Spannungen kann Verzug oder sogar Rissbildung auftreten.

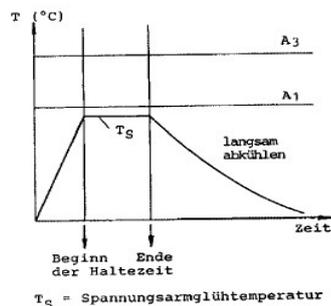


Bild 5: Spannungsarmglühen

Innere Spannungen im Werkstück können nur durch eine plastische Deformation im Mikrobereich abgebaut werden. Das bedeutet, dass die inneren Spannungen abgebaut werden, bis zu der Streckgrenze (Dehngrenze) bei der die Spannungsarmglühung erfolgte. Bei unlegierten Stählen liegt die günstigste Glüh-temperatur zwischen 450 °C und 650 °C bei einer Haltezeit je nach Werkstückabmessung von 1 bis 2 Stunden.

Werkstoff - Eisen

Bild 7: Grobkornglühen

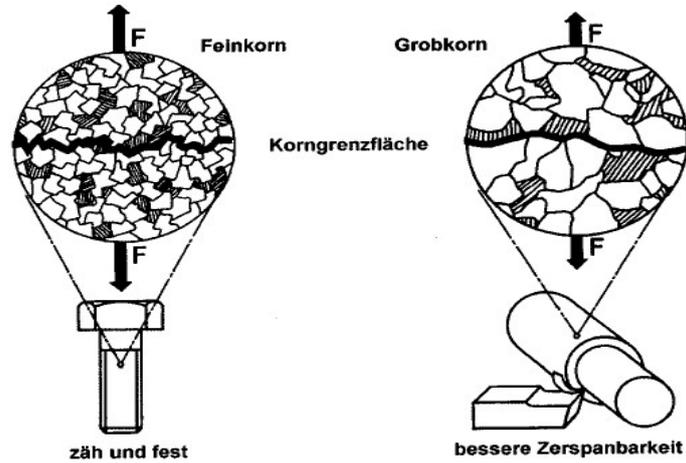


Bild 8: Gefüge vor- und nach dem Grobkornglühen

Werkstoff - Eisen

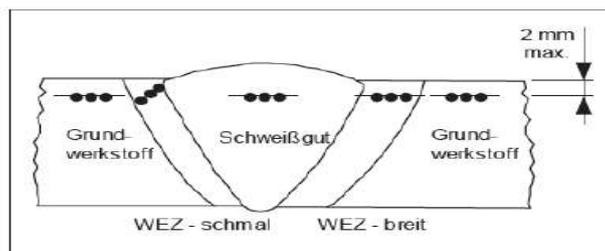


Bild 18: Härtereihe für eine Stumpfnahtheit

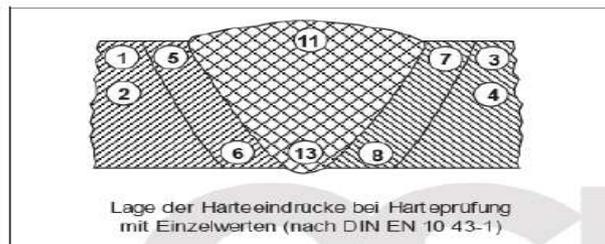


Bild 19: Einzeleindrücke einer Stumpfnahtheit

Werkstoff - Eisen

• Werkstoffe DIN 15608

Tabelle 1 – Gruppeneinteilung für Stähle

Gruppe	Untergruppe	Stahlsorte
1		Stähle mit einer festgelegten Mindeststreckgrenze $R_{eH} \leq 460 \text{ N/mm}^2$ und einer Analyse in %: C $\leq 0,25$ Si $\leq 0,60$ Mn $\leq 1,70$ Mo $\leq 0,70^b$ S $\leq 0,045$ P $\leq 0,045$ Cu $\leq 0,40^b$ Ni $\leq 0,5^b$ Cr $\leq 0,3$ (0,4 für Gusswerkstoffe) ^b Nb $\leq 0,05$ V $\leq 0,12^b$ Ti $\leq 0,05$
	1.1	Stähle mit einer festgelegten Mindeststreckgrenze $R_{eH} \leq 275 \text{ N/mm}^2$
	1.2	Stähle mit einer festgelegten Mindeststreckgrenze $275 \text{ N/mm}^2 < R_{eH} \leq 360 \text{ N/mm}^2$
	1.3	Normalisierte Feinkornbaustähle mit einer festgelegten Mindeststreckgrenze $R_{eH} > 360 \text{ N/mm}^2$
	1.4	Stähle mit einem erhöhten Widerstand gegen atmosphärische Korrosion, deren Zusammensetzung die Anforderung für die einzelnen Elemente der Gruppe 1 überschreiten darf
2		Thermomechanisch behandelte Feinkornbaustähle und Stahlguss mit einer festgelegten Mindeststreckgrenze $R_{eH} > 360 \text{ N/mm}^2$
	2.1	Thermomechanisch behandelte Feinkornbaustähle und Stahlguss mit einer festgelegten Mindeststreckgrenze $360 \text{ N/mm}^2 < R_{eH} \leq 460 \text{ N/mm}^2$
	2.2	Thermomechanisch behandelte Feinkornbaustähle und Stahlguss mit einer festgelegten Mindeststreckgrenze $R_{eH} > 460 \text{ N/mm}^2$

Werkstoff - Eisen

• Werkstoffe DIN 15608

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Gruppe	Untergruppe	Stahlsorte
7		Ferritische, martensitische oder ausscheidungshärtende nichtrostende Stähle mit C $\leq 0,35$ % und 10,5 % \leq Cr ≤ 30 %
	7.1	Ferritische nichtrostende Stähle
	7.2	Martensitische nichtrostende Stähle
	7.3	Ausscheidungshärtende nichtrostende Stähle
8		Austenitische Stähle
	8.1	Austenitische nichtrostende Stähle mit Cr ≤ 19 %
	8.2	Austenitische nichtrostende Stähle mit Cr > 19 %
	8.3	Manganhaltige austenitische Stähle mit 4,0 % $<$ Mn $\leq 12,0$ %
9		Nickellegierte Stähle mit Ni $\leq 10,0$ %
	9.1	Nickellegierte Stähle mit Ni $\leq 3,0$ %
	9.2	Nickellegierte Stähle mit 3 % $<$ Ni $\leq 8,0$ %
	9.3	Nickellegierte Stähle mit 8 % $<$ Ni $\leq 10,0$ %
10		Austenitische ferritische nichtrostende Stähle (Duplex)
	10.1	Austenitische ferritische nichtrostende Stähle mit Cr $\leq 24,0$ %
	10.2	Austenitische ferritische nichtrostende Stähle mit Cr $> 24,0$ %

Werkstoff - Eisen

- Werkstoffe DIN 15608

Tabelle 7 – Gruppeneinteilung für Gusseisen

Gruppe	Untergruppe	Gusseisensorte
71		Gusseisen mit Lamellengraphit mit festgelegter Zugfestigkeit oder Brinell-Härte
72		Gusseisen mit Kugelgraphit mit festgelegten mechanisch-technologischen Kennwerten
	72.1	Gusseisen mit Kugelgraphit mit festgelegter Zugfestigkeit, 0,2%-Dehngrenze und Bruchdehnung oder mit festgelegter Brinell-Härte
	72.2	Gusseisen mit Kugelgraphit (wie 72.1), mit festgelegter Kerbschlagarbeit
73		Temperguss
	73.1	Weißer Temperguss mit besonderer Schweißbeignung
	73.2	Weißer Temperguss
	73.3	Schwarzer Temperguss
74		Bainitisches Gusseisen
75		Austenitisches Gusseisen
	75.1	Austenitisches Gusseisen mit Kugelgraphit und festgelegter chemischer Zusammensetzung
	75.2	Austenitisches Gusseisen mit Kugelgraphit
	75.3	Austenitisches Gusseisen mit Lamellengraphit
76		Gusseisen, das nicht in 71 bis 75 enthalten ist
	76.1	Verschleißbeständiges Gusseisen