

Einführung in die Stahlkunde

1 Wissenswertes zu Stählen

Generell lassen sich Eisenmetalle in Stähle und Gusseisen (Abb. 1-1) einteilen.

a) Als **Stähle** bezeichnen wir Eisen-Kohlenstoff-Legierungen mit einem Kohlenstoffgehalt kleiner als 2,1 %.

b) Eisenwerkstoffe mit mehr als 2,06 % Kohlenstoff werden als **Gusseisen** bezeichnet, welches bis zu 6,67 % Kohlenstoff aufnehmen kann.

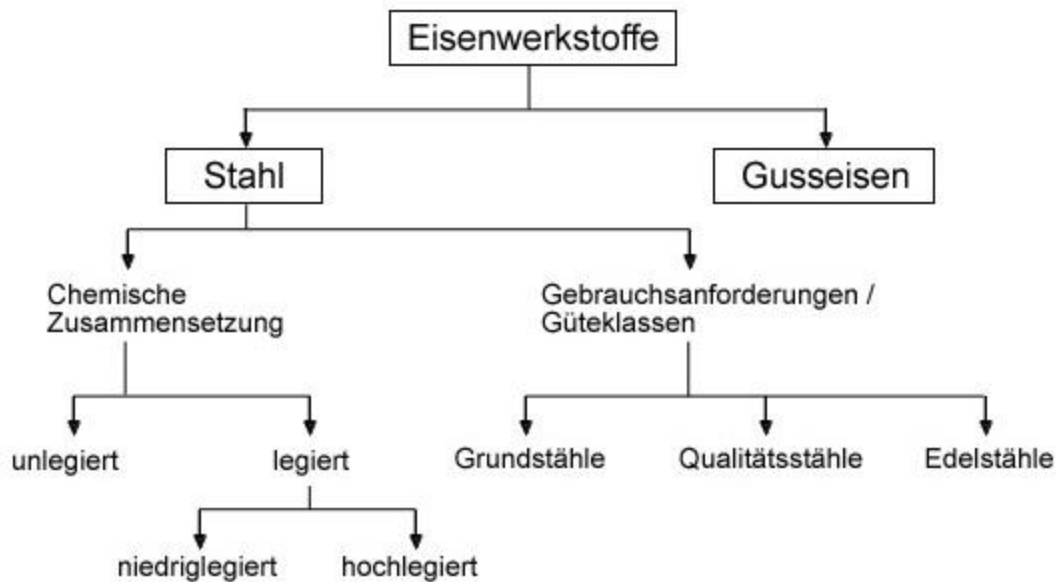


Abb. 1-1
Eisenwerkstoffe¹

Bei den Stählen - mit denen wir uns in dieser Arbeit beschäftigen - erfolgen aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung oder bezüglich ihrer Güteklasse weitere Differenzierungen.

1.1 Eisen

Chemisch reines Eisen (ARMCO-Eisen) ist ein weiches, zähes Eisen mit verschwindendem Kohlenstoffgehalt und einem geringen Mangananteil, das nicht härtbar ist. Für den Maschinen- und Werkzeugbau besitzt es keine Bedeutung. Als Werkstoff mit hoher Permeabilität wird es dagegen in medizinischen Geräten zur Abschirmung magnetischer Felder eingesetzt.

¹ <http://www.maschinenbau-wissen.de/>

Eisen kommt grundsätzlich in zwei Gefügeformen als α -Eisen oder als γ -Eisen (Abb. 1-2) vor. Wir unterscheiden zwischen ferritischem und austenitischem Gefüge. Der Unterschied liegt in der Gitterstruktur bzw. Anordnung der Atome. Darüber hinaus gibt es weitere Formen, die als Martensit, Ledeburit, Perlit, Zementit usw. bezeichnet werden. Setzt man z.B. einen hochtemperierten Kohlenstoffstahl einer schnellen Abkühlung aus, so haben die Atome zu wenig Zeit, um in den ferritischen Grundzustand zurückzukehren. Es bildet sich spröder Martensit.

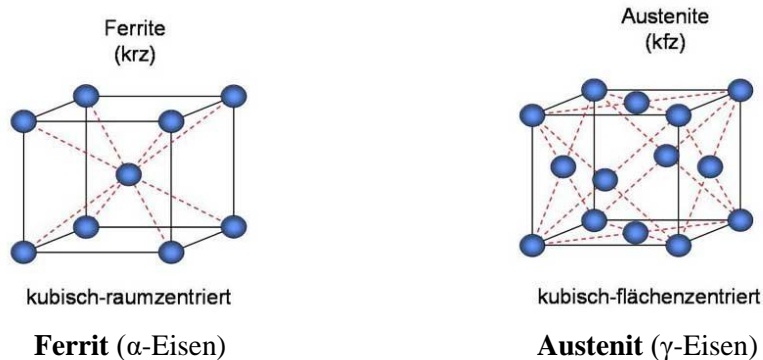


Abb. 1-2
Gitterstruktur von Eisen

Schmiedeeisen (Wrought iron) ist kohlenstoffarm und deswegen besonders gut schmiedbar. Es wurde im 19. Jahrhundert im „Puddelverfahren“ (Flammofenfrischen) hergestellt. Häufig besitzt dieses Eisen einen erhöhten Phosphor- und/oder Schwefelgehalt.

Auch härterer Schmiedestahl wurde im Puddelverfahren gewonnen. Durch sog. „Frischen“ entstand eine von Schlacke durchsetzte Lupe, die durch Schneiden und Schmieden weiterverarbeitet wurde. Heutiger Schmiedestahl besitzt die Eigenschaften von S185 (St 33), einem einfachen Baustahl, welcher oft für Kunstschlosserarbeiten verwendet wird.

1.2 Stahl

Charakteristisch für Stähle ist ein Kohlenstoffgehalt von 0,15 % bis 2,1 %. Prinzipiell lassen sich Stähle aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung in zwei Gruppen unterteilen.

- 1) **Unlegierte Stähle** enthalten ausser Eisen, Kohlenstoff und Mangan keine anderen Elemente in grösserer Menge. Der Anteil einzelner Legierungselemente (Mangan ausgenommen) ist kleiner als 0,5 %.
- 2) **Legierte Stähle** kommen in zwei Varianten vor.
 - a) Niedriglegierte Stähle, der Anteil einzelner Legierungselemente ist kleiner als 5 %.
 - b) Hochlegierte Stähle, der Anteil eines oder mehrerer Legierungselemente ist ≥ 5 %.

Tabelle 1 Kohlenstoffgehalt [Masse-%]		Kohlenstoff (Carbon) ist ausser Eisen vermutlich das wichtigste Element eines Stahls. Kohlenstoff ermöglicht das Härten von Stahl und bildet zusammen mit Legierungselementen wie z.B. Chrom oder Wolfram sog. Karbide. Ausserdem verbessert Kohlenstoff bestimmte Eigenschaften eines Stahls wie z.B. Zugfestigkeit, Streckgrenze, Härte und Verschleissfestigkeit, verringert dabei aber die Zähigkeit. Ein kohlenstoffreicher Hartstahl (einer Werkstattfeile z.B.) ist äusserst spröde.
0,00 - 0,10	Reineisen	
< 0,10	Austenitischer CrNi-Stahl	
0,10 - 0,50	Allgemeiner Baustahl	
0,25 - 0,80	Vergütungsstahl	
0,50 - 2,06	Werkzeugstahl	
2,06 - 6,67	Gusseisen	

► **Baustähle** gehören zu den unlegierten Stählen. Die einfachsten Sorten ohne besondere Eigenschaften wurden früher als „Grundstähle“ bezeichnet.

► **Werkzeugstähle** werden in niedrig- und hochlegierter Form hergestellt werden. Durch Zugabe geeigneter Elemente lassen sich nahezu alle verlangten Eigenschaften erzeugen.

► **Qualitätsstähle** müssen festgelegte Anforderungen in Bezug auf Zähigkeit, Korngröße, Zerspanung oder Umformbarkeit usw. erfüllen. Schwefel- und Phosphoranteile dürfen 0,045 % nicht überschreiten. Baustähle, die nicht zu den Grundstählen gehören, sind Qualitätsstähle.

► **Edelstähle** zeichnen sich durch enge Toleranzen und einen besonders hohen Reinheitsgrad aus. Ihr Schwefel- und Phosphorgehalt darf 0,025 % nicht überschreiten. Edelstähle müssen nicht zwingend rostfrei sein.

► **Nichtrostende Stähle** enthalten mehr als 10,5 % Chrom. In praxi ist von min. 12,0 % die Rede. Für Konstruktions- und Maschinenteile werden aufgrund ihrer guten schweiss- und umformbarkeit vielfach austenitische CrNi-Stähle verwendet.

1.3 Klassifizierung der Stähle

Zur Unterscheidung teilen wir Stähle in Gruppen ein. Aus Sicht des Industrietechnikers ist z.B. eine Klassifizierung aufgrund der verlangten Eigenschaften und damit des Verwendungszweckes sinnvoll.

Um Stähle systematisch zu gliedern, wird ihnen nebst einer Kurzbezeichnung eine **Werkstoffnummer** zugeteilt, deren Bedeutung am Beispiel des nichtrostenden Stahls X5CrNi18-10 (WNr. 1.4301) näher erläutert wird.

Tabelle 2 System der Werkstoffnummern					
1	.	43	01	xx	
Werkstoff-Nr.			Bedeutung		
1.4301 (67)			Werkstoffhauptgruppe		
1.4301 (67)			Stahlgruppe (Sortennummer)		
1.4301 (67)			Zählnummer (Stahlgewinnungsverfahren)		
1.4301 (67)			erweiterte Zählnummer (Behandlungszustand)		

Werkstoffhauptgruppe

- 0 Roheisen, Ferrolegerungen, Gußeisen
- 1 Stahl, Stahlguß
- 2 Schwermetalle außer Fe (Eisen)
- 3 Leichtmetalle
- 4-8 nichtmetallische Werkstoffe
- 9 nicht vergeben, somit frei für interne Nutzung

Stahlgruppe (Sortennummern)

Massen- und Qualitätsstähle

- 00 Handels- und Grundgütern
- 01-02 allgemeine Baustähle, unlegiert
- 03-07 Qualitätsstähle, unlegiert
- 08-09 Qualitätsstähle, legiert
- 90 Sondersorten, Handels- und Grundgütern
- 91-99 andere Sondersorten

Unlegierte Edlstähle

- 10 Stähle mit besonderen physikalischen Eigenschaften
- 11-12 Baustähle
- 15-18 Werkzeugstähle

Legierte Edlstähle

- 20-28 Werkzeugstähle
- 32-33 Schnellarbeitsstähle
- 34 verschleißfeste Stähle
- 35 Wälzlagerstähle
- 36-39 Eisenwerkstoffe mit besonderen physikalischen Eigenschaften
- 40-45 nichtrostende Stähle
- 47-48 hitzebeständige Stähle
- 49 Hochtemperaturwerkstoffe
- 50-84 Baustähle

- 85 Nitrierstähle
- 88 Hartlegierungen

Bezeichnungsbeispiele:

- Konstruktionsbaustahl (unlegiert)	S275 JR	WNr. 1.0044
- Automatenstahl (unlegiert)	35S20	WNr. 1.0726
- Einsatzstahl (unlegiert)	C15	WNr. 1.0401
- Vergütungsstahl (niedrig legiert)	34CrNiMo6	WNr. 1.6582
- Werkzeugstahl (hochlegiert)	X100CrMoV51	WNr. 1.2363
- Ferritischer Chromstahl (hochlegiert)	X6Cr17	WNr. 1.4016

2 Stähle für den Konstruktions-, Maschinen- und Apparatebau

Enthält ein Stahl ausser Mangan kein Legierungselement mit mehr als 0,5 %, so wird er als unlegiert bezeichnet.

2.1 Baustahl

a) Baustähle sind in der Regel nicht für eine Wärmebehandlung (Normalglühen ausgenommen) vorgesehen. Die am häufigsten verwendeten Sorten gehören in die Kategorie der früher als „Grundstähle“ bezeichneten Sorten. Obwohl dieser Begriff in der neuen Norm fehlt, ist er für den Praktiker weiterhin gebräuchlich.

Tabelle 3 Kennzeichnung für Baustähle	
D	kaltumformbare Stähle
E	Maschinenbaustähle
H	Hochfeste Flacherzeugnisse
L	Stähle für Leitungsrohre und sonstige Rohrarten
P	Stähle für Druckbehälter
R	Schienenstähle
S	Stähle für Stahlbau (Konstruktionsbaustahl)

Grundstähle (unlegierte Qualitätsstähle) sind Stähle, an die keine besonderen Anforderungen gestellt werden.

- Sie sind nicht für eine Wärmebehandlung (ausgenommen Glühen) bestimmt
- Es sind keine besonderen Qualitätsmerkmale vorgegeben
- Ausser Silizium und Mangan sind keine Legierungsbestandteile vorgesehen

Tabelle 4 Grundstähle ² nach DIN EN 10025			
neue Bezeichnung	WNr.	alte Bezeichnung	C-Gehalt Masse-%
S185	1.0035	St 33	0,30
S235JR	1.0037	St 37-2	0,17
S275JR	1.0044	St 44-2	0,21
S355JR	1.0045	-----	0,24
E295	1.0050	St 50-2	0,40
E355	1.0060	St 60-2	0,50
E360	1.0070	St 70-2	0,65

Aufgrund ihrer guten Zugfestigkeit und Streckgrenze werden Baustähle vorwiegend im Konstruktions-, Brücken-, Fahrzeug- und Maschinenbau verwendet.

b) Feinkornbaustähle mit einem Kohlenstoffgehalt von weniger als 0,2 % sind sprödebruch- und alterungsunempfindlich und besitzen eine hohe Zähigkeit. Sie werden für Schweisskonstruktionen im Kran-, Brücken- und Fahrzeugbau verwendet.

► **Konstruktionsbaustahl** ist leicht bearbeit- und schweisbar. Der Kohlenstoffgehalt beträgt max. 0,25 %. Die Stähle dieser Gruppe sind nicht härtbar.

S (Structural Steel) bedeutet „Stähle für den Stahlbau“ (Konstruktionsbaustahl).

Die dem Buchstaben folgende Zahl bezeichnet die Streckgrenze in N/mm². Die alte Bezeichnung benutzte die Zugfestigkeit (z.B. 370 N/mm² bei St 37).

Bestimmte Attribute wie z.B. Kaltumformbarkeit oder Vergütung werden durch Zusatzsymbole angezeigt.

² Technische Schriftenreihe Nr. 10, *Grundstähle* (Brütsch/Rüegger AG).

Die neue Norm verwendet die Bezeichnung „Grundstähle“ nicht länger. Stattdessen sollen auch profane Baustähle den Qualitätsstählen zugeordnet werden.

- Beispiel 1: **S235 JR +AR** (früher St 37-2) Kerbschlag 27 Joule bei +20 °C
 Werkstoff-Nr. 1.0037 gewalzt (as rolled)³
 0,17 % Kohlenstoff
- Beispiel 2: **S275 J2G3** (früher St 44-3 N) Kerbschlag 27 Joule bei -20 °C
 Werkstoff-Nr. 1.0144 Vollberuhigt und normalisiert
 0,18 % Kohlenstoff

Verwendung: Bauteile für geringe bis mittlere Belastung im Stahlbau.

Tabelle 5 Zusatzbezeichnungen für allgemeine Baustähle		
Kerbschlagarbeit	Zusatzsymbol Gruppe 1	Zusatzsymbol Gruppe 2
J 27 Joule	N Normal gegläht o. normalisierend gewalzt	C Besondere Kaltumformbarkeit
K 40 Joule	A Ausscheidungshärtend	D Für Schmelztauchüberzüge
L 60 Joule	M Thermomechanisch gewalzt	E Für Emaillierung
	Q Vergütet	F Zum Schmieden
Prüftemperatur	G Andere Merkmale	H Für Hohlprofile
R +20 °C	G1 Unberuhigter Stahl	L Für tiefe Temperaturen
0 0 °C	G2 unberuhigter Stahl nicht zulässig	M Thermomechanisch gewalzt
2 -20 °C	G3 Vollberuhigter Stahl normalisiert	N Normalgeglüht oder normalisierend gewalzt
3 -30 °C	G4 Vollberuhigter Stahl	O Offshore
4 -40 °C		P Für Spundbohlen
5 -50 °C		Q Vergütet
6 -60 °C		S Schiffsbau
		T Für Rohre

► **Maschinenbaustahl** enthält bis zu 0,6 % Kohlenstoff.

E bedeutet Stahl für den Maschinenbau. Die Bedeutung der Zahl ist dieselbe wie beim allgemeinen Baustahl und gibt die Streckgrenze an.

³ **+AR** ist ein Zusatzsymbol für den Behandlungszustand eines Stahls; diese und weitere Bedeutungen sind den einschlägigen Tabellenbüchern zu entnehmen. Das Zusatzsymbol +AR darf nicht mit der gleichlautenden Bezeichnung für die Art des Überzuges (Aluminium walzplattiert) verwechselt werden!

Beispiel: **E360 GC** (St 70-2K) kaltumformbar
 Werkstoff-Nr. 1.0070
 0,5 - 0,65 % Kohlenstoff

Verwendung: Konstruktionsteile für mittlere bis hohe Belastung im Maschinenbau.

Tabelle 6 Zusatzbezeichnungen für Maschinenbaustähle	
Erster Buchstabe	Zweiter Buchstabe
G Andere Merkmale	C Geeignet zum Kaltziehen

► **Druckbehälterstähle** sind warmfeste und gut schweißbare Stähle.

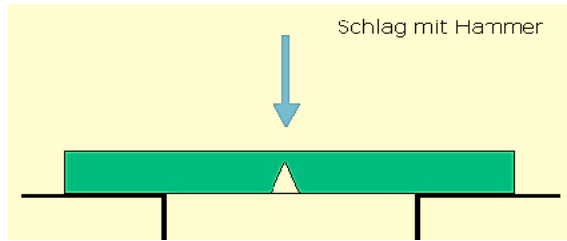
P bedeutet Stahl für den Druckbehälterbau.

Beispiel: **P265 GH** für hohe Temperaturen (bis 400 °C)
 Werkstoff-Nr. 1.0425
 C 0,2 %; Mn 0,8 - 1,4 %; Silizium 0,4 %; Cr + Cu + Mo + Ni ≤ 0,7 %

Verwendung: Bauteile in Dampferzeugern wie Kessel, Rohre, Flansche und Sammler.

Tabelle 7 Zusatzbezeichnungen für Stähle im Druckbehälterbau	
Erster Buchstabe	Zweiter Buchstabe
M Thermomechanisch gewalzt	H Hochtemperatur
N Normalgeglüht od. normalisierend gewalzt	L Tieftemperatur
Q Vergütet	R Raumtemperatur
B Gasflaschen	X Hoch- und Niedrigtemperatur
S Einfache Druckbehälter	
T Rohre	
G Andere Merkmale	

Mit dem Kerbschlagversuch (Abb. 2-1) wird das Materialverhalten unter schlagender Belastung ermittelt. Dieser Prüfversuch eignet sich zur Beurteilung der Trennbruchneigung eines Werkstoffes.



Beim Durchschlagen der Probe wird ein Teil der Hammerenergie für die sog. Schlagarbeit benötigt.

Die bei einem Sprödbbruch dissipierte Energie ist gering, während ein Bruch mit plastischer Verformung wesentlich mehr Energie aufnimmt.

Bildquelle: <http://diglib.ethz.ch/>

Abb. 2-1

Anordnung der Probe beim Kerbschlagversuch

2.2 Kohlenstoffstahl (unlegiert)

Kohlenstoffstähle sind für eine Wärmebehandlung (Härten, Vergüten) vorgesehen. Ein Kohlenstoffgehalt von $\geq 0,35\%$ ermöglicht das Härten resp. Vergüten. Ausser Kohlenstoff enthalten sie in geringen Anteilen Elemente wie Mangan, Phosphor, Schwefel und Silizium. In der Regel sind diese Stähle nicht oder nur bedingt schweisssbar.

Kohlenstoffstähle mit weniger als 1 % Mangan enthalten in ihrer Bezeichnung ein **C**, gefolgt von einer Zahl, die dem 100-fachen des durchschnittlichen Kohlenstoffgehaltes entspricht. Wenn nötig kommt ein weiterer Kennbuchstabe (Tabelle 8) hinzu.

Härten bedeutet Glühen und anschliessendes „Abschrecken“ in Luft, Wasser oder Öl.

Beim **Vergüten** wird der Stahl nach dem Härten auf eine niedrigere Temperatur erwärmt. Dieses als „Anlassen“ bezeichnete Verfahren reduziert die erreichbare Härte, um so eine optimale Kombination von Härte und Zähigkeit zu erzielen.

► **Federstähle** sind Kohlenstoffstähle mit einem Kohlenstoffgehalt von 0,55 % bis 1,0 %. Durch gezieltes Härten und Anlassen lassen sich die für einen bestimmten Federtyp erforderlichen Eigenschaften erzeugen.

Beispiel: C100S (früher Ck 101)
Werkstoff-Nr. 1.1274
C 1,0 %; Mn 0,4 - 0,6 %; Si 0,15 - 0,35 %

Verwendung: Als kaltgewalzter Bandstahl zur Herstellung von Federn.

► **Vergütungsstähle** sind Maschinenbaustähle für höher beanspruchte Teile, die sich auf Grund ihrer chemischen Zusammensetzung zum Vergüten (Härten und Anlassen) eignen. Der Kohlenstoffgehalt variiert zwischen 0,2 % bis 0,65 %. Vergütet besitzen sie bei harter Randzone einen zähelastischen Kern.

Beispiel 1: **C45E** (früher Ck45)
 Werkstoff-Nr. 1.1191
 0,45 % Kohlenstoff

Verwendung: Achsen, Säulen, Wellen, Pleuelstangen, Zahnstangen, Schrauben.

Beispiel 2: **C60E** (Ck60)
 Werkstoff-Nr. 1.1221
 0,65 % Kohlenstoff

Verwendung: Teile für mittlere Beanspruchung im allgemeinen Maschinen- und Fahrzeugbau.

Tabelle 8 Codierung C-Stähle	
C Kaltumformung	R Bereich des S-Gehalts
D Drahtziehen	S Federstahl
E max. S-Gehalt	U Werkzeugstahl
G Andere Merkmale	W Schweißdraht

► **Einsatzstähle** besitzen einen Kohlenstoffgehalt von 0,1 % bis 0,25 %. Der für die Härtung benötigte Kohlenstoff wird dem Stahl durch Diffusion zugeführt. Das Aufkohlen kann in pulveriger Umgebung, im Salzbad oder in einem aufkohlenden Gas vorgenommen werden. Bei diesem Verfahren entsteht eine harte und verschleissfeste Randzone mit ca. 0,8 % Kohlenstoff bei einem kohlenstoffarmen und relativ zähen Kern.

Beispiel: **16MnCr5** (EC80)
 Werkstoff-Nr. 1.7131
 C 0,16 %; Mn 1,2 %; Cr 0,9 %; Si 0,3 %

Verwendung: Elemente des Maschinenbaus wie Getriebeteile, Kolbenbolzen, Nockenwellen.

Einsatzstähle sind geeignet, um schlagende Beanspruchungen ohne Bruch aufzunehmen. Ihr Anwendungsbereich erstreckt sich über den Fahrzeug-, Werkzeug- und Maschinenbau bis zu Spritz- und Pressformen für Kunststoffmaschinen.

2.3 Qualitätsstahl (unlegiert)

Qualitätsstähle umfassen sämtliche Stahlsorten, die nicht Grund- oder Edelstähle sind und zusätzlichen Anforderungen wie Verformbarkeit, Korngröße, Spröbruchempfindlichkeit usw. genügen müssen. Für Qualitätsstähle gelten strengere Grenzwerte als bei Grundstählen.

Tabelle 9 Grenzgehalt [Masse-%]		Mangan, Phosphor, Schwefel und Silizium kommen praktisch in allen Stählen in geringen Mengen vor, so dass spezifische Grenzwerte zu beachten sind. Der in Tabelle 9 festgelegte Grenzgehalt darf nicht überschritten werden. Als Faustformel gilt: Die Massenanteile der Nichteisenmetalle sind gleich oder kleiner als 0,5 % (ausgenommen Mangan mit max. 1,65 %). Für Qualitätstähle ist in der Regel eine Beruhigung des Stahls durch Senkung des Sauerstoffgehaltes vorgesehen. Der während des Schmelzprozesses aus bestimmten Gründen eingebrachte Sauerstoff soll wieder entfernt werden. Dazu gibt man im Ofen oder während des Abstichs Elemente wie Silizium, Aluminium oder Mangan in die Schmelze, die den Sauerstoff binden. Durch die Desoxidation wird das Gefüge (und damit die Qualität) signifikant verändert. Lediglich für vereinzelte Anwendungen wie z.B. Emaillieren oder Vernickeln ist unberuhigter Stahl besser geeignet, weil die weiche, saubere Randschicht in diesem Fall erwünscht ist.
Aluminium	0,10	
Kobalt	0,10	
Chrom	0,30	
Mangan	1,65	
Molybdän	0,08	
Nickel	0,30	
Silizium	0,50	
Wolfram	0,10	

► **Konstruktionsbaustähle** mit bestimmten Anforderungen gehören zu den Qualitätsstählen.

Beispiel: **S355J0** (St 52-3)
Werkstoff-Nr. 1.0553
C < 0,24 %; Mn 1,0 - 1,6 %; P < 0,045 %; S < 0,025 %; Si < 0,55 %

Verwendung: Konstruktionsteile für geringe bis mittlere Belastungen.

► **Automatenstähle** sind Qualitätsstähle. Damit sich bei der Zerspanung möglichst kurze Späne bilden, enthalten sie Schwefel (bis 0,35 %) und Mangan (0,7 - 1,7 %). Einige Sorten enthalten Blei (ca. 0,2 %) oder Phosphor (bis 0,2 %).

Automatenstähle werden nebst Mangan mit Blei, Schwefel oder Phosphor legiert. Feinverteilte heterogene Bleieinschlüsse im Stahl bewirken ein Brechen der Späne. Infolge gesundheitlicher Risikofaktoren werden bleilegierte Automatenstähle nur noch in geringen Mengen hergestellt. Legierungen mit Schwefel und Mangan besitzen ähnliche physikalische Eigenschaften. Durch den Schwefelzusatz entstehen weiche und ausgeprägte Mangansulfideinschlüsse, an denen die Späne brechen.

Beispiel 1: **11SMn30**
Werkstoff-Nr. 1.0715
C < 0,14 %; S 0,27 - 0,33 %; Mn 0,9 - 1,3 %; P ≤ 0,11 %; Si < 0,05 %

Verwendung: Für Teile mit geringer Belastung.

Beispiel 2: **11SMnPb30** (9SMnPb28) Pb-Zusatz für glatte Bearbeitungsflächen
Werkstoff-Nr. 1.0718
C 0,08 %; S 0,3 %; Mn 1,1 %; Pb 0,25 %; P 0,07 %; Si < 0,05 %

Verwendung: Maschinen- und Fahrzeugteile für geringe Belastung.

3 Legierte Stähle

Um bestimmte Eigenschaften zu erhalten, werden den Stählen nebst Kohlenstoff gezielt andere Elemente - meist aus der Gruppe der Metalle - zugeführt. Zu den Legierungselementen zählen bspw. Chrom, Nickel, Mangan, Molybdän, Silizium, Vanadium und Wolfram.

- Chrom erhöht die Rostsicherheit und Verschleissfestigkeit
- Molybdän (Karbidbildner) verbessert die Härbarkeit
- Mangan erhöht die Zähigkeit
- Vanadium erhöht die Verschleissfestigkeit
- Wolfram (Karbidbildner) erhöht die Verschleissfestigkeit
- Nickel erhöht die Zähigkeit
- Silizium behindert die Bildung von Karbiden

Bei den legierten Stählen unterscheidet man niedriglegierte und hochlegierte. Nicht-rostende Stähle sind aufgrund ihres grossen Chromanteiles stets hochlegiert.

3.1 Niedriglegierte Stähle

Legierungen mit Beigaben bis 5 % eines Elementes werden als niedriglegiert bezeichnet.

Niedriglegierte Stähle erkennt man an der Angabe des Kohlenstoffgehalts als zweistellige Zahl am Anfang ihrer Kurzbezeichnung; danach folgen die Legierungselemente mit entsprechenden Zahlenwerten, die durch einen Faktor (Tabelle 10) dividiert werden. Ohne Zahlenangabe ist ihr Anteil kleiner als 1 %.

► **Einsatzstähle** mit Chrom, Nickel und Molybdän werden für verschleissfeste Maschinenteile benötigt, deren Härtung mit Vorteil nach der Zerspanung erfolgt.

Beispiel: **18CrNiMo7-6** (niedrig legierter Einsatzstahl)
Werkstoff-Nr. 1.6587
C 0,18 %; Cr 1,7 %; Ni 1,5 %; Mo 0,25 - 0,35 %

Verwendung: Zahnräder, Kurbelwellen, Wellen.

► Vergütungsstähle mit Chrom, Nickel und Molybdän werden für oberflächenharte Bauteile verwendet. Mangan wäre zwar kostengünstiger als Chrom, neigt aber zu Sei-

gerungen und damit zu inhomogenen Strukturen. Durch Zugaben von Molybdän verbessern sich Warmfestigkeit, Anlassbeständigkeit und Einhärtbarkeit.

Beispiel: **34CrNiMo6**
 Werkstoff-Nr. 1.6582
 C 0,3 - 0,38 %; Cr 1,5 %; Ni 1,3 - 1,7 %; Mo 0.15 - 0,3 %
 Mn 0,5 - 0,8 %; P < 0,025 %; S < 0,035 %; Si < 0,4 %

Verwendung: Für durchhärtende Teile des Automobil- und Maschinenbaus mit hohen Anforderungen an Festigkeit und Zähigkeit.

Tabelle 10 Elemente niedrig legierter Stähle	
Legierungselement	Teiler
Cr, Co, Mn, Ni, Si, W	4
Al, Cu, Mo, V, Pb, Nb, Ti, V, Ta, Zr, Be	10
C, Ce, N, P, S	100
B	1000

► **Nitrierstähle** enthalten Nitridbildner wie Chrom, Aluminium oder Titan und werden für verschleißfeste Bauteile mit hoher Oberflächenhärte verwendet.

Beispiel: **31CrMo12**
 Werkstoff-Nr. 1.8515
 C 0,31 %; Cr 3 %; Mo 0,3 - 0,5 %

Verwendung: Zahnräder, Pleuelstangen, Wellen, Führungen, Richtwalzen u.a.

3.2 Hochlegierte Stähle

Als hochlegiert gilt ein Stahl dann, wenn der Massenanteil eines seiner Legierungselemente min. 5 % beträgt.

X bedeutet hoch legiert. Die Zahlenwerte stehen in der Reihenfolge der Legierungselemente. Ohne Zahlenangabe ist der Anteil eines aufgeführten Elementes in der Regel kleiner als 1 %.

Beispiel 1: **X38CrMoV5-3** (Warmarbeitsstahl)
 Werkstoff-Nr. 1.2367
 C 0,38 %; Cr 5 %; Mo 3 %; V 0,5 %

Verwendung: Strangpresswerkzeuge, Druckgusswerkzeuge und Gesenke bei Schmiedepressen.

Beispiel 2: **X120Mn12** (Manganhartstahl)
Werkstoff-Nr. 1.3401
C 1,2 %; Mn 12,5 %

Eigenschaften: Zäh und verschleissfest; mit hoher Oberflächenhärte durch Kaltverfestigung.

Verwendung: Verschleisssteile wie Baggerzähne, Lauf- und Kettenrollen; Brechbacken, Prallkörper; Panzerschränke.

Beispiel 3: **X8CrNi18-9** (nichtrostender austenitischer Automatenstahl)
Werkstoff-Nr. 1.4305
C 0,08 %; Cr 17 - 19 %; Ni 8 - 10 %
S 0,15 - 0,35 %; P 0,045 %; Cu 1,0 % ; N 0,11%

Verwendung: Maschinen- und Fahrzeugteile für mittlere korrosive Beanspruchung.

3.3 Sonderstähle

► **Verschleißstahl** mit hoher Zähigkeit und Härte für besonders verschleissfeste Teile.

Als **Verschleiss** bezeichnen man den fortschreitenden Materialverlust aus der Oberfläche eines festen Körpers, hervorgerufen durch mechanische Ursachen. Durch eine grössere Härte des angreifenden Stahls erhöht sich der Verschleisswiderstand und damit die Standzeit des betreffenden Objektes.

Beispiel 1: **Borox 500** (wasservergüteter Borstahl)

Verwendung: Schürfleisten, Unterschraub- und Einschweißmesser, Verschleißstreifen und Verschleißplatten für Schneepflüge, Bagger, Erdbewegungsmaschinen usw.

Beispiel 2: **Hardox 400**

Verwendung: Zerkleinerungsanlagen, Siebe, Förderkübel, Baggerlöffel, Messer, Zahn- und Kettenräder, Muldenkipper, Ladeschaufeln, Förderrohre, Schneckenförderer, Pressen.

► **Getriebestahl** für hochbeanspruchte Getriebeteile, Zahnräder usw.

Beispiel: **58CrMoV4+QT** (niedriglegierter Vergütungstahl)
Werkstoff-Nr. 1.7792
C 0,6 %; Cr 1,0 %; Mo 0,2 %; V 0,1 %
Mn 0,9 %; P ≤ 0,035 %; S ≤ 0,04 %; Si 0,25 %

Verwendung: Zahnräder, Ritzel, Kurvenscheiben, Bohrstangen.

► **Wälzlagerstahl** für Teile, die hohe Anforderungen an Härte, Verschleissfestigkeit und Maßbeständigkeit erfüllen müssen.

Beispiel: **100CrMo7-3** (RW5)
Werkstoff-Nr. 1.3536
C 1,0 %; Cr 1,8 %; Mo 0,3 %; Mn 0,7 %; Si 0,3 %

Verwendung: Wälzkörper, Führungsleisten, Hülsen, Walzen, Schneidrollen.

► **Hitzebeständige Stähle** für Bauteile, die hohen Temperaturen ausgesetzt sind.

Beispiel 1: **X10CrAlSi25** (ferritischer Cr-Stahl)
Werkstoff-Nr. 1.4762
C ≤ 0,12 %; Cr 23,0 - 26,0 %; Al 1,2 - 1,7 %; Si 1,2 - 1,7 %

Eigenschaften: Zunderbeständig bis 1'150 °C und resistent gegenüber schwefelhaltigen Gasen.

Verwendung: Hitzebeständige Kesselteile und Industrieöfen.

Beispiel 2: **X15CrNiSi25-21** (austenitischer CrNi-Stahl)
Werkstoff-Nr. 1.4841
C ≤ 0,2 %; Cr 24,0 - 26,0 %; Ni 19,0 - 21,0 %; Si 1,5 - 2,5%

Eigenschaften: Gute Festigkeit auch bei hohen Temperaturen; bei Betrieb in kohlendioxidhaltiger Atmosphäre bis 900 °C und im Dauerbetrieb an Luft bis ca. 1150 ° einsetzbar.

Verwendung: Industrieofenbau, Kehrichtverbrennungsanlagen, Petrochemische Industrie, Zementindustrie.

3.3 Legierungselemente und ihre Eigenschaften

Eine grosse Bedeutung kommt den verwendeten **Legierungselementen**, oft selbst in kleinen Mengen, zu. Der chemischen Analyse bereits während des Einschmelzens kommt daher eine wichtige Funktion zu. Um z.B. der Gefahr des Lötbruchs durch Einschlüsse von Buntmetallen im Stahl zu begegnen, dürfen bestimmte Grenzwerte für Nichteisenmetalle nicht überschritten werden.

Weil industriell hergestellte Stähle stets auch Schwefel enthalten (und Schwefel die Stahlqualität durch Bildung von Eisensulfid vermindert), muss der Entschwefelung besondere Sorgfalt gewidmet werden. Die Einstellung des geforderten Schwefelgehaltes erfolgt meist nach dem Abstich durch das **TN-Verfahren** (nach Thyssen Niederrhein). Zur Verbesserung der Qualität müssen Stähle min. dreimal soviel Massenprozent Mangan wie Schwefel enthalten. Durch die Bindung des Schwefels zu Mangansulfid wird der Gefahr des Rotbruchs (zwischen 800 bis 1'000 °C) oder der Gefahr des Heissbruchs (bei 1'200 °C und darüber) vorgebeugt.

Kohlenstoff C → senkt den Schmelzpunkt, erhöht Härte und Zugfestigkeit (Stahl lässt sich erst ab einem C-Gehalt von 0,3 % härten); erhöht bei höheren Gehalten die Sprödigkeit, verringert Schmiedbarkeit, Schweissneigung, Bruchdehnung und Kerbschlagarbeit.

Blei Pb → wird fast nur bei Automatenstählen eingesetzt, um eine bessere Oberfläche zu erhalten.

Chrom Cr → ist ein Karbidbildner und macht Stahl korrosionsbeständig; erhöht Festigkeit, Verschleißbeständigkeit, verbessert die Einhärtbarkeit.

Kobald Co → wirkt kornfeinend und verbessert die Warmfestigkeit.

Mangan Mn → steigert die Zähigkeit; bindet Schwefel; erhöht Streckgrenze, Zugfestigkeit und Härtbarkeit; vergrößert die Einhärtetiefe.

Molybdän Mo → bildet besonders harte Sonderkarbide, die den Stahl verschleiß- und abriebfest machen; verbessert Härtbarkeit, Zähigkeit, Festigkeit; verringert die Anlaßsprödigkeit, fördert die Feinkornbildung, erhöht Streckgrenze und Warmfestigkeit; wird oft bei Wellen und Zahnrädern mit hoher Beanspruchung eingesetzt.

Nickel Ni → macht Stähle korrosionsbeständig, fest und zäh (auch im Tieftemperatur-einsatz) und wird in hoch beanspruchtem Stahl benutzt.

Phosphor P → ist ein sog. Stahlschädling, bewirkt Versprödung und Rotbruch des Stahls; führt zu Seigerungen; verringert Anlassbeständigkeit, Zähigkeit, Umformbarkeit und Schweißbarkeit; erhöht Zugfestigkeit, Streckgrenze und Härte in kohlenstoffarmen Stählen.

Schwefel S → erhöht die Seigerungsneigung; führt zu Rotbruch; verringert Zähigkeit (in Querrichtung), Umformbarkeit und Schweißbarkeit; wird wegen seinen kurz brechenden Spänen in Automatenstählen eingesetzt.

Silizium Si → erhöht Zugfestigkeit, Streckgrenze, Härte und den Verschleißwiderstand; führt zu abnehmender Zähigkeit, Umformbarkeit und Schweißbarkeit.

Titan Ti → bildet die härtesten Metallkarbide und wirkt äußerst kornfeinend; wird aber nur in wenigen Stählen verwendet.

Vanadium V → besitzt eine kornverfeinernde Wirkung, verbessert Festigkeit und Zähigkeit, macht Stahl hart und verschleißfest.

Wolfram W → bildet sehr harte Karbide (Widia) und macht Werkzeuge verschleißfest; sorgt für hohe Warmfestigkeit (Schmelzpunkt bei 3'422 °C); wird für Warmarbeitsstähle verwendet.

4 Werkzeugstahl

Wir unterscheiden unlegierte, niedriglegierte und hochlegierte Werkzeugstähle. Der Kohlenstoff-gehalt beträgt 0,5 % bis 2,1 %. Die Zerspanbarkeit nimmt mit steigendem Kohlenstoffanteil ab.

4.1 Einteilung der Werkzeugstähle nach ihrer Legierungsart

► **Unlegierte Werkzeugstähle** enthalten bis 1,5 % Kohlenstoff und geringe Mengen anderer Elemente zur Verbesserung der Verschleißfestigkeit.

Beispiel 1: **C105U**
Werkstoff-Nr. 1.1545
1,0 - 1,1 % Kohlenstoff

Verwendung: Stempel, Stanzen, Hobel- und Scherenmesser.

Beispiel 2: **140Cr3**
Werkstoff-Nr. 1.2008
1,5 % Kohlenstoff

Verwendung: Hochwertige Feilen.

► **Niedriglegierte Werkzeugstähle** enthalten Elemente wie Chrom, Nickel, Vanadium, Mangan, Molybdän, Wolfram und Kobalt, deren Massenanteil geringer als 5 % ist.

Beispiel 1: **100MnCrW4** (Kaltarbeitsstahl)
Werkstoff-Nr. 1.2510
C 0,95 %; Mn 1 %; Cr 0,6 %; W 0,6 %

Verwendung: Gewindeschneidwerkzeuge, Lehren, Stempel und Industriemesser.

Beispiel 2: **90MnCrV8** (Kaltarbeitsstahl)
Werkstoff-Nr. 1.2842
C 0,9 %; Mn 1,9 %; Cr 0,4 %; V 0,1 %

Verwendung: Schnitt-, Stanz- und Prägwerkzeuge; Matrizen und Stempel; Schneidwerkzeuge.

► **Hochlegierte Werkzeugstähle** enthalten Elemente wie Chrom, Nickel, Vanadium, Mangan, Molybdän, Wolfram und Kobalt, deren Massenanteil ≥ 5 % ist.

Beispiel 1: **X38CrMoV5-3** (Warmarbeitsstahl)
Werkstoff-Nr. 1.2367
C 0,38 %; Cr 5 %; Mo 3 %; V 0,6 %

Eigenschaften: Ausgezeichnete Warmfestigkeit und gute Warmzähigkeit.

Verwendung: Strangpresswerkzeuge, Gesenkeinsätze und Druckgusswerkzeuge.

Beispiel 2: **X153CrMoV12** (ledeburitischer Cr-Stahl)
 Werkstoff-Nr. 1.2379
 C 1,55 %; Cr 12,0 %; Mo 0,8 %; V 0,8 %

Verwendung: Scherenmesser, Abgratmatrizen, Gewindewalzwerkzeuge, Maschinenmesser, Fräser, Räumnadeln, Tiefzieh- und Fließpreßwerkzeuge.

4.2 Einteilung der Werkzeugstähle nach ihrem Einsatzbereich

Ausser den oben skizzierten Sorten gibt es **Kunststoff-Formenstähle** - z.B. die korrosionsbeständige und hochfeste Legierung PH X SUPRA (WNr. 1.2892) -, die hier aber nicht näher behandelt werden.

► **Kaltarbeitsstähle** (Betriebstemperatur bis 200 °C) besitzen hohe Härte, hohe Verschleissfestigkeit, verbesserte Zähigkeit und gute Maßbeständigkeit. Alte Feilen bestehen meist aus einem Kaltarbeitsstahl mit hohem Kohlenstoffgehalt und einem geringen Anteil Chrom.

Beispiel: **90MnCrV8**
 Werkstoff-Nr. 1.2842
 C 0,9 %; Cr 0,4 %; Mn 1,9 %; V 0,1 %; Si 0,2 %

Eigenschaften: Hohe Härte, gute Zähigkeit und Schnitthaltigkeit

Verwendung: Stanz- und Schneidwerkzeuge, Scherenmesser, Reibahlen, Stempel.

► **Lehrenstähle** gehören zu den niedriglegierten Kaltarbeitsstählen und enthalten Chrom, Vanadium, Wolfram oder Mangan.

Beispiel: **115CrV3** (Silberstahl)
 Werkstoff-Nr. 1.2210
 1,1 - 1,25 % Kohlenstoff

Eigenschaften: Gute Verschleiss- und Zähigkeitseigenschaften, härtbar in Wasser oder Öl.

Verwendung: Gewindelehren, Grenzlehndorne, Auswerfer, Stempel, Schlagzähne.

► **Warmarbeitsstähle** sind legierte Werkzeugstähle zur Fertigung von Werkzeugen und Formen mit Betriebstemperaturen bis 400 °C. Sie besitzen hohe Wärmezähigkeit und Warmfestigkeit, gute Brandrissbeständigkeit und einen hohen Warmverschleisswiderstand.

Beispiel 1: **X20CoCrWMo10-9**
 Werkstoff-Nr. 1.2888
 C 0,2 %; Co 10 %; Cr 9 %; W 5,3 %; Mo 2 %; Mn 0,5 %

Verwendung: Druck- und Strangpresswerkzeuge.

Beispiel 2: **X60WCrMoV9-4**
Werkstoff-Nr. 1.2622
C 0,58 %; W 9 %; Cr 4 %; Mo 0,9 %; V 0,8 %

Verwendung: Warmlochstempel, Warmfliesspressdorne, Abschermesser etc.

► **Schnellarbeitsstähle** (Betriebstemperatur bis 600 °C) besitzen nebst hoher Verschleissfestigkeit, Anlassbeständigkeit und Wärmehärte eine grosse Zähigkeit. Es handelt sich um Stähle für grosse Spanleistungen, die mit Wolfram, Molybdän, Vanadium und Kobalt legiert werden. Gelegentlich kommt auch Chrom dazu.

HS bedeutet Schnellarbeitsstahl (alte Bezeichnung HSS = High Speed Steel).

Die Zahlen sind %-Anteile der Legierungselemente in folgender Reihenfolge:

1. Zahl Wolfram 2. Zahl Molybdän 3. Zahl Vanadium 4. Zahl Kobalt

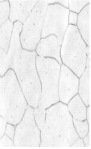



Beispiel: **HS6-5-2-5**
C 0,6 %; W 6 %; Mo 5 %; V 2 %; Co 5 %

Verwendung: Spiralbohrer, Gewindebohrer, Fräser, Drehstähle.

Die Standzeit von HS-Werkzeugen lässt sich durch Beschichtung mit Titannitrit (TiN) signifikant erhöhen. Dieser metallische Hartstoff ist an seiner goldgelben Farbe erkennbar.

5 Korrosions- und säurebeständige Stähle

Unter den nichtrostenden Stählen unterscheidet man aufgrund ihres Gefüges ferritische, martensitische und austenitische Stähle sowie Kombinationen davon (Abb. 5-1). Nickel, Kohlenstoff und Stickstoff wirken als Austenitbildner, während Chrom, Molybdän und Silizium die Bildung eines ferritischen Gefüges begünstigen - insofern der Chromgehalt des nichtrostenden Stahls über 15 % beträgt.

Tabelle 11 Schliffbilder und Eigenschaften von nichtrostenden Stählen ⁴				
				
Ferritischer Cr-Stahl	Martensitischer Cr(Ni)-Stahl	Austenitischer CrNi-Stahl	Austenitischer CrNiMo-Stahl	Duplex-Stahl
siehe Tabelle 12	Cr 12 - 18 % C 0,1 - 1,2 %	Cr > 12 % Ni > 8 % C < 0,1 %	Cr > 12 % Ni > 8 % Mo ≥ 2 % C < 0,1 %	siehe Tabelle 13
ferromagnetisch nicht härtbar bedingt korrosionsbeständig bedingt zerspanbar bedingt schweisbar gut umformbar	ferromagnetisch härtbar, vergütbar bedingt korrosionsbeständig bedingt zerspanbar bedingt schweisbar hohe Verschleiss- und Schneidhaltigkeit	unmagnetisch nicht härtbar rostsicher gut zerspanbar gut schweisbar kalt umformbar hohe Kerbschlagwerte	unmagnetisch nicht härtbar säurebeständig zerspanbar schweisbar kalt umformbar hohe Kerbschlagwerte	ferromagnetisch korrosionsstabil bedingt zerspanbar schweisbar umformbar sehr fest
1.4003 1.4015 1.4105 1.4113	1.4005 1.4021 1.4057 1.4104	1.4301 1.4305 1.4306 1.4541	1.4401 1.4404 1.4436 1.4571	1.4162 1.4410 1.4462 Sandvik SAF 2707 HD®

Gelegentlich ist bei nichtrostenden Stählen von NIROSTA (Krupp), Cromargan und Remanit die Rede; dabei handelt es sich um geschützte Markennamen. Begriffe wie

⁴ Schoch Edelstahl, *Edelstahl rostfrei* (Broschüre).

INOX (von franz. inoxidable) oder „Stainless“ bezeichnen im Kern dasselbe. Die manchmal anzutreffende Bezeichnung Stahl 18/8 bezieht sich auf den CrNi-Anteil bei austenitischen Stählen.

Nach weit verbreitetem Verständnis unterscheiden sich austenitische nichtrostende Stähle von ferritischen dadurch, dass sie nicht magnetisierbar sind. In realiter enthalten auch austenitische Standardgüten geringe eindispergierte Massenanteile an sog. δ -Ferrit, welches die Gießbarkeit und Schweißbarkeit verbessert. Ferner resultiert ein schwacher Ferromagnetismus, der bei einer Kaltverfestigung nicht selten eine Verstärkung erfährt.

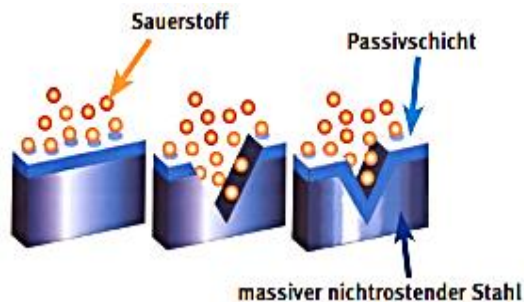


Abb. 5-1

Passivschicht eines nichtrostenden Stahls

Werden einem Stahl bei einem max. Kohlenstoffgehalt von 1,2 % mehr als 10,5 % Chrom (realistischer sind ≥ 12 %) hinzugefügt, so ergibt sich der einfachste nichtrostende Stahl, welcher in einer schwach wässrigen Umgebung bestehen kann. Infolge des hohen Chrom-Anteiles entsteht an der Werkstoffoberfläche eine dünne und schützende Passivschicht aus Chromoxid.

Bildquelle: <http://www.euro-inox.org/>

5.1 Ferritische nichtrostende Stähle

Eisen-Chrom-Legierung mit 11 % bis 18 % Chrom bei einem Kohlenstoffgehalt von weniger als 0,1 %. Nebst den Standardgüten existieren Spezialstähle mit 18 % bis bis 30 % Chrom. Einige Sorten enthalten zur Verbesserung ihrer Eigenschaften bis zu 2,5 % Molybdän.

Beispiel: **X6Cr17**
Werkstoff-Nr. 1.4016
C 0,06 %; Cr 17 %

Anwendung: Schienen- und Straßenfahrzeuge (Auspuffanlagen), Containerbau, Lager- und Transporteinrichtungen der Zuckerindustrie.

Die Korrosionsbeständigkeit ferritischer nichtrostender Stähle zeigt sich in Medien mit geringer Aggressivität und mit geringer Chloridkonzentration. Die mechanische Festigkeit ist geringer als die der austenitischen Stähle; dafür sind ferritische Stähle resistent gegenüber einer chlorinduzierten Spannungsrisskorrosion. Ein unbestreitbarer Vorteil ist sicherlich der relativ günstige Preis.

Tabelle 12 Ferritische Stahlgruppen ⁵				
Ferritische nichtrostende Standardstähle		Ferritische nichtrostende Spezialstähle		
Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5
Cr 11-14 %	Cr 14-18 %	Cr 14-18 % stabilisiert mit Ti, Ni	enthält zusätzlich Mo > 0,5 %	Cr 18-30 %
1.4003 1.4028 1.4512	1.4016	1.4509 1.4510 1.4520	1.4113 1.4513 1.4521	weitere Güten

Im Haushaltsbereich werden ferritische nichtrostende Standardstähle z.B. für Pfannen, Schränke, Waschmaschinentrommeln und Gebrauchsgegenstände aus Edelstahl verwendet (Abb. 5-2).⁶



Nichtrostender ferritischer Stahl mit 17 % Chrom (WNr. 1.4016).

Abb. 5-2
Design-Papierkörbe (G-Line Pro)
aus rostfreiem Edelstahl

⁵ Ebd.

⁶ International Stainless Steel Forum, *Die ferritische Lösung* (Broschüre).

5.2 Martensitische nichtrostende Stähle

Eisen-Chrom-Nickel-Legierung mit 12 % bis 14 % Chrom bei einem Kohlenstoffgehalt von mehr als 0,1 %.

Beispiel: **X20Cr13**
Werkstoff-Nr. 1.4021
C 0,2 %; Cr 13,0 %

Verwendung: Turbinenschaufeln, Wellen, Spindeln, Ventilkegel und Sitze in Dampf- und Wasserarmaturen; chirurgische Instrumente wie Pinzetten und Zangen.

Martensitische nichtrostende Stähle besitzen relativ viel Kohlenstoff, wodurch sie härter sind. Infolge ihrer guten mechanischen Eigenschaften werden sie für chirurgische Instrumente und Spezialwerkzeuge verwendet (Abb. 5-3). Die diesen Stählen zukommende Korrosionsfestigkeit bewährt sich in gemässigt aggressiven nicht chlorhaltigen Medien wie Seifen, Lösungsmitteln und organischen Säuren.



Abb. 5-3

Präzisionspinzette (Rubis) aus Chirurgenstahl

Nichtrostender martensitischer Stahl (WNr. 1.4021) mit guter Beständigkeit gegenüber Salpeter- und Flußsäure.

5.3 Austenitische nichtrostende Stähle

Eisen-Chrom-Nickel-Legierung mit einem Kohlenstoffgehalt von weniger als 0,1 %. Der Chromgehalt beträgt mehr als 15 %. Der Anteil von Nickel ist grösser als 8 %. Durch Beigabe von Molybdän wird die Korrosionsfestigkeit gegenüber Schwefelsäure und salzsäurehaltige Lösungen erheblich erhöht. Geringe Anteile von Titan oder Niob kommen gelegentlich vor.



Abb. 5-4

Druckmessgerät (WIKAI)

Cr-Ni-Gehäuse aus korrosionsbeständigem austenitischem Stahl (WNr. 1.4404) mit 17 % Chrom, 12 % Nickel und 2 % Molybdän.

Aufgrund ihrer guten Bearbeitbarkeit und Schweißbarkeit sind austenitische Stähle im Maschinen- und Apparatebau beliebt. Ein gewisser Nachteil ist, dass sie sich nicht härten lassen.

- Als **V2A** bezeichnet man einen nichtrostenden CrNi-Stahl.⁷

Beispiel: **X5CrNi18-10** (Grundtyp der nichtrostenden Stähle)
Werkstoff-Nr. 1.4301
C 0,05 %; Cr 18 %; Ni 10 %

Eigenschaften: Sehr gut umformbar und gut schweisbar.

Verwendung: Konstruktions- und Maschinenteile in wässriger oder laugenhaltiger Umgebung in der Lebensmittel-, Pharma- und Getränkeindustrie.

- Als **V4A** bezeichnet man einen nichtrostenden und säurebeständigen CrNiMo-Stahl.

Beispiel: **X5CrNiMo17-12-2** (Grundtyp der säurebeständigen Stähle)
Werkstoff-Nr. 1.4401
C 0,05 %; Cr 17 %; Ni 12 %; Mo 2 %

Verwendung: Konstruktions- und Maschinenteile in säure-, chlor- oder salzhaltiger Umgebung für die chemische Industrie, Brauereien, Kläranlagen u.s.w.

5.4 Duplexstähle

Eisen-Chrom-Nickel-Legierungen mit gemischt austenitisch-ferritischem Gefüge.

Duplexstahl enthält ausser Chrom und Nickel auch Molybdän. Die Streckgrenze liegt deutlich oberhalb der austenitischen Stähle. Die Beständigkeit gegen chlorinduzierte Spannungsrisskorrosion ist besser als bei austenitischen Stähle.

Duplexstähle werden dort eingesetzt, wo sowohl hohe Korrosionsbeständigkeit als auch hohe Festigkeit gefordert werden. Inzwischen werden auch Brücken mit Tragwerken aus Duplexstahl errichtet.

Beispiel: **X2CrNiMoN 22-5-3** (stickstofflegiert)
Werkstoff-Nr. 1.4462
C 0,02 %; Cr 22 %; Ni 5 %; Mo 3 %; N 0,1 - 0,22 %

Eigenschaften: Hohe Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit.

Verwendung: Chemische und petrochemische Industrie, Schiffsbau, Meerwasserentsalzung.

⁷ **V2A** = Versuchsschmelze 2 Austenit (Krupp-interne Bezeichnung).

Tabelle 13 Duplex-Stähle ⁸			
Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4
Lean-Duplex mit reduzierten Legierungsanteilen	Standard-Duplex mit normalen Legierungsanteilen	Superduplex mit stark erhöhten Legierungsanteilen	Hyperduplex mit sehr hohen Legierungsanteilen
Cr bis 24,0 % Ni bis 5,5 % Mo bis 0,6 %	Cr bis 28,0 % Ni bis 6,5 % Mo bis 3,5 %	Cr bis 26,0 % Ni bis 8,0 % Mo bis 4,5 % N bis 0,35 %	Cr bis 33,0 % Ni bis 9,5 % Mo bis 5,0 % N bis 0,6 %
1.4162 (LDX 2101®) 1.4362 (2304)	1.4462 (2205) 1.4460	1.4410 (SAF 2507®) 1.4501	S32707 S33207

5.5 Historischer Exkurs

Die Geschichte des nichtrostenden Stahls ist ziemlich verwickelt und komplex. Als Erfinder kommen verschiedene Personen in Frage, die unabhängig voneinander vor dem ersten Weltkrieg einen nichtrostenden Stahl entwickelten. Bald einmal wurde die Bedeutung solcher Stähle nicht nur für den Maschinenbau, sondern auch für die Herstellung von rostfreiem Essbesteck und für chirurgische Instrumente erkannt.⁹

1) Als einer der Erfinder des nichtrostenden Stahls gilt Max MAUERMANN (1868-1929), der im Jahre 1912 als Laborleiter der Phönix-Stahlwerke Joh. E. Bleckmann (Schoeller-Bleckmann-Werke) mit diversen Stahlsorten experimentierte. Bei einer Probe fiel ihm auf, dass sie nicht rostete. Ein daraus gefertigtes Küchenmesser bewährte sich im Feld-einsatz. Weitere Untersuchungen, darunter solche mit Salzwasser, erhärteten diese Beobachtung.

2) 1912 beanspruchte der Essener Stahlkonzern Friedrich Krupp AG die Erfindung für einen nichtrostenden Stahl mit hohem Chrom-Nickel-Gehalt.

2a) Als Erfinder werden der Physiker Dr. Benno STRAUSS (1873-1944) und der Eisenhüttenmann und Physikochemiker Dr. Eduard MAURER (1886-1969) genannt. Nach dem ersten Weltkrieg folgten weitere Patentanmeldungen.

⁸ Notz Metall, *Duplexstähle* (Broschüre).

⁹ Manfred Rasch, *100 Jahre nichtrostender Stahl* (Klartext Verlag 2012).

2b) In gewisser Weise profitierten die genannten Forscher von den Vorarbeiten zweier anderer Wissenschaftler, nämlich Wilhelm Borchers und Philip MONNARTZ. Letztgenannter steuerte einen wegweisenden Beitrag zur Korrosionsbeständigkeit chromlegierter Stähle bei.¹⁰

3) Im angelsächsischen Raum gilt der Autodidakt Harry BREARLEY (1871-1948) als Erfinder des nichtrostenden Stahls. Brearley befasste sich eingehend mit der Verbesserung der Festigkeit von Gewehrläufen, indem er dem Stahl grössere Anteile von Chrom hinzufügte. Als Nebeneffekt erwies sich seine Legierung als korrosionsbeständig gegenüber schwachen Säuren. Eine Patentanmeldung erfolgte 1913.

4) Aus den USA werden als Erfinder nichtrostender Stähle Elwood HAYNES (1857-1925) sowie Frederick M. BECKET (1875-1942) und Christian DANTSIZEN genannt.

4a) Haynes - dem wir auch die Kobald-Chrom-Legierung *Stellite* verdanken - experimentierte in den Jahren 1911 bis 1913 mit härtbaren (martensitischen) Chromstählen, um deren Korrosionsbeständigkeit zu beurteilen. Später gründete Haynes zusammen mit dem zuvor erwähnten Brearley die „American Stainless Steel Company“.

4b) Becket und Dantsizen arbeiteten mit nichthärtbaren (ferritischen) Chromstählen, die als Zuführungsdrähte für Glühlampen verwendet wurden. Becket war mit der Herstellung dieser Legierungen bei der „Electro Metallurgical Company“ in Niagra Falls beschäftigt, während Dantsizen bei „General Electric“ in Schenectady für die Anwendung zuständig war.

Quellenverzeichnis

Fachliteratur

- Hans Berns, Eisenwerkstoffe (Springer)
- Wolfgang Weißbach, Werkstoffkunde (Vieweg + Teubner)
- Wolfgang Bergmann, Werkstofftechnik, 2 Bände (Carl Hanser Verlag)
- Claus Qvist Jessen, Nichtrostender Stahl und Korrosion (Damstahl 2011)

Weblinks

- http://de.wikibooks.org/wiki/Werkstoffkunde_Metall
- <http://www.rime.de/wiki/werkstoffnummern/>
- <http://www.metallograf.de/>

¹⁰ Philipp Monnartz, *Beitrag zum Studium der Eisenchromlegierungen unter besonderer Berücksichtigung der Säurebeständigkeit* (1911).