

Duplex | Praxisnah

Benoît van Hecke

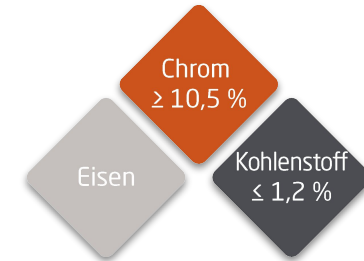
Head of Technical Customer Support
Commercial Team Capital Goods

Kursleiterfortbildung HWK
Aachen | 22. September 2026

Duplex definieren

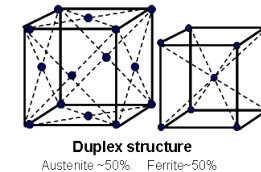
Was ist Edelstahl?

- > Metallische Legierung auf Eisenbasis mit mindestens **10,5 % Chrom** und niedrigem Kohlenstoffgehalt
- > Ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit
- > Vier verschiedene Werkstofffamilien, jeweils mit spezifischen Eigenschaften



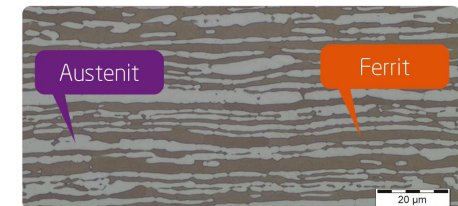
Verschiedene Edelstahlfamilien

- > **Ferritische Stähle**: gutes Verhalten bei hohen Temperaturen, ungünstiger bei Temperaturen unter $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ / mittlere Festigkeit / magnetisch
- > **Martensitische Stähle**: für Schneidwaren und verschleißbeanspruchte Bauteile / hart und hochfest / magnetisch
- > **Austenitische Stähle**: größte Werkstofffamilie / enthalten Nickel und können Mangan und Molybdän enthalten / sehr gutes Verhalten bei hohen Temperaturen
- > **Duplexstähle**: **ca. 50/50 austenitisch-ferritisches Gefüge** / **sehr hohe Korrosionsbeständigkeit und Festigkeit** / magnetisch



Fokus auf Duplex-Edelstahl

- > Die Kombination aus austenitischer und ferritischer Phase verleiht Duplex die Festigkeit ferritischer Stähle sowie die Duktilität und Zähigkeit austenitischer Stähle.
- > Duplex sollte nicht oberhalb von $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ oder unterhalb von $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ eingesetzt werden.



Duplex-Familien

Duplex – Aperam-Produktprogramm

Familien-Typ	Name	Werkstoff	C%	Cr%	Ni%	Mo%	N%
Super Duplex	DX2507	1.4410 S32750	<0,02	25,0	7,0	4,0	0,28
Standard Duplex*	DX1803	1.4462 S31803	<0,03	22,1	5,0	2,5	0,17
	DX2205	S32205	<0,03	22,8	5,5	3,0	0,17
Light Duplex	DX2304	1.4362 S32304	<0,03	22,8	3,8	0,5	0,13
Lean Duplex	DX2202	1.4062 S32202	<0,03	22,9	2,6	0,2	0,21
Lean Duplex	DX2101	1.4162 S32101	<0,03	21,5	1,6	0,3	0,22

* 1.4462 und S31803 sind niedriger legiert – DX2205 gilt als „Standard“. Eine Doppelzertifizierung 1.4462/DX2205 ist möglich.

Unterschiedliche Anwendungen für verschiedene Duplex-Typen

Duplex – Aperam-Produktprogramm

Lean Duplex	Standard Duplex	Super Duplex
DX2202 and DX2101 Light Duplex - DX2304	DX1803 DX2205	DX2507

AISI-Bezeichnungen erleichtern die Zuordnung: 22 % Cr und 5 % Ni bei DX2205

Lean Duplex: sehr **niedriger Nickelgehalt**, hohe **Preisstabilität** und **Wirtschaftlichkeit**

- > Nickel wird durch Mangan und Stickstoff ersetzt
 - DX2202 (1.4062) weist ein ähnliches Korrosionsverhalten wie der austenitische 316L (1.4404) auf
 - DX2101 (1.4162) weist ähnliche Korrosionseigenschaften wie 304L (1.4307) auf

“Light” Duplex bietet Eigenschaften, die **nahe an denen von austenitischen Standardgütern** liegen

- > DX2304 (1.4362) weist im Allgemeinen eine höhere Korrosionsbeständigkeit als 316L (1.4404) auf

Standard Duplex: 22 % Chrom, 5 % Nickel, **3 % Molybdän** (1.4462 - DX1803 mit **2,5% Mo** ist eine historische Bezeichnung!)

- > Gute mechanische Eigenschaften und Korrosionsbeständigkeit

Super Duplex: sehr **hohe Festigkeit** und **sehr hohe Korrosionsbeständigkeit**

- > Beständig gegen Meerwasser
- > 25% Cr, 7% Ni, und 4% Mo (kann kostenintensiv sein)

Potenzial zur Gewichtseinsparung

Duplex kann andere Stähle ersetzen und ermöglicht dabei geringere Wanddicken bei gleichzeitig verbesserter Korrosionsbeständigkeit.

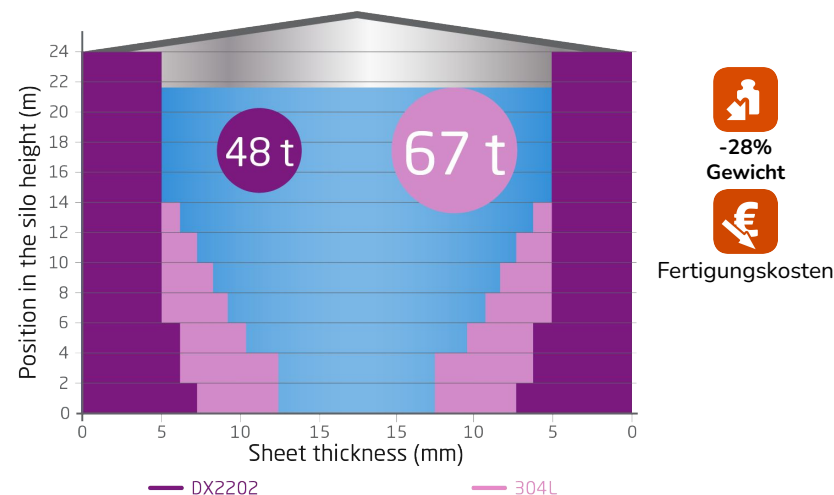
Typische mechanische Eigenschaften von Aperam-Werkstoffen

Werkstoff	EN	UNS	R _{p0.2} (MPa)	R _{m S} (MPa)	A (%)
DX2202	1.4062	S32202	530	710	30
DX2304	1.4362	S32304	550	730	30
316L	1.4404	S31603	300	620	52
304L	1.4307	S30403	300	650	54

Ersatz von 304L durch DX2202

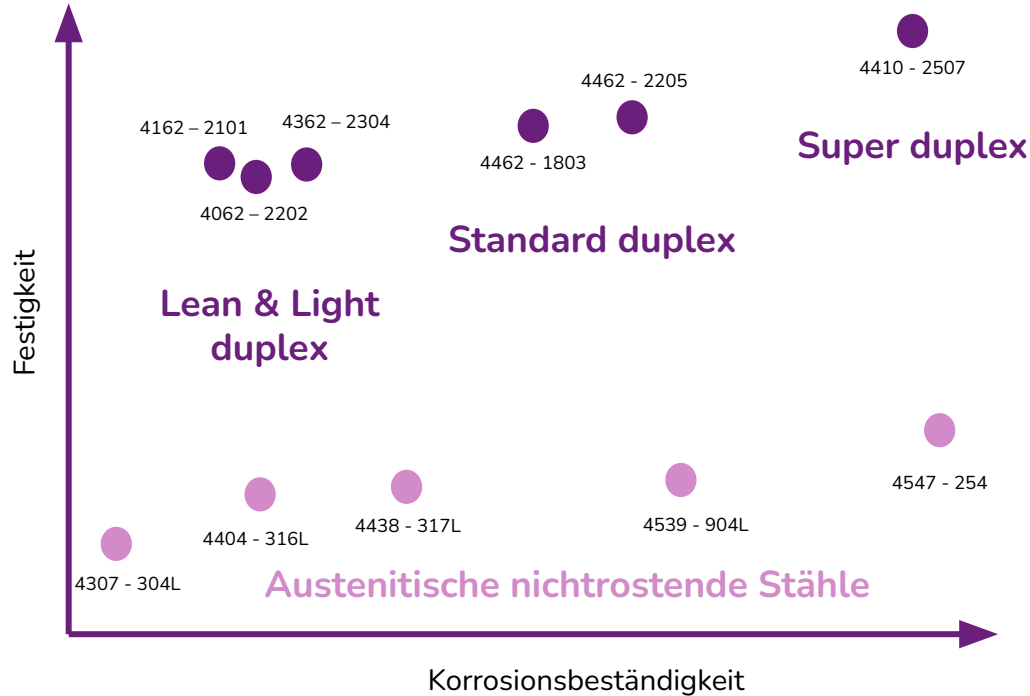
Berechnung der Behälterwanddicke gemäß API 650.

Beispiel eines mit Wasser gefüllten Tanks mit Ø 14 m und 24 m Höhe.



Der Einsatz von Duplexstählen ermöglicht Gewichtseinsparungen, vereinfacht die Handhabung und reduziert die Kosten.

Duplex vs. Austenite: Festigkeit vs. Korrosionsbeständigkeit



Mechanische Eigenschaften

Zugeigenschaften

- > Höhere Streckgrenze und Zugfestigkeit als Cr-Ni-Stähle
- > Ausreichende Bruchdehnung: höher als bei ferritischen Stählen und Baustählen

Einsatz bei hohen Temperaturen

- > Ähnlicher Abfall der mechanischen Eigenschaften mit steigender Temperatur
- > Die mechanischen Eigenschaften bleiben höher als bei austenitischen Stählen
- > Einsatzgrenze bei 250 °C, in einigen Fällen bei 300 °C

Zähigkeit

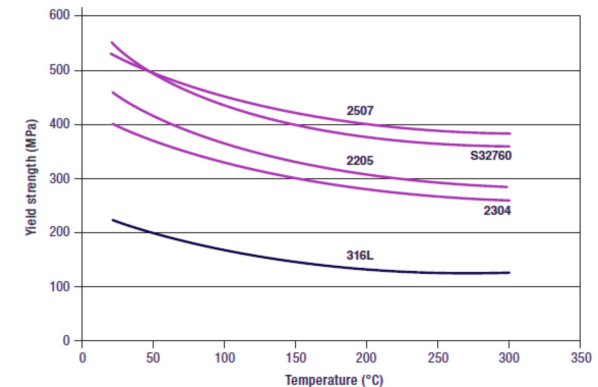
- > Aufgrund der ferritischen Phase kann die Zähigkeit bei niedrigen Temperaturen nicht gewährleistet werden >> niedrigste Einsatztemperatur: -50 °C

In der Praxis

- > Die Verarbeitung von Duplex entspricht hinsichtlich der erforderlichen Kräfte etwa der Verarbeitung von austenitischem Edelstahl mit doppelter Dicke
- > Größere Biegeradien sind erforderlich. Zudem muss eine stärkere Rückfederung berücksichtigt werden.

EN Nr.	Dehngrenze R _{p0,2} MPa (ksi)	Zugfestigkeit R _m (MPa)	Bruchdehnung A (%)
1.4362	400 (58)	630 (91)	25
1.4462	460 (67)	640 (93)	25
1.4410	530 (77)	730 (106)	20

Quelle: IMO A



Physikalische Eigenschaften

Güte	UNS-N r..	Dichte	Spezifische Wärmekapazität	Elektrischer Widerstand		Elastizitätsmodul	
		g/cm ³	J/kg K	micro Ω m	micro Ω in.	GPa	×10 ⁶ psi
Kohlenstoffstahl	G10200	7,64	447	0,10	3,9	207	30,0
Typ 304 / 1.4301	S30400	7,98	502	0,73	28,7	193	28,0
Typ 316 / 1.4404	S31600	7,98	502	0,75	29,5	193	28,0
2304 / 1.4362	S32304	7,75	482	0,80	31,5	200	29,0
	S31803	7,80	500	0,80	31,5	200	29,0
2205 / 1.4462	S32205	7,80	500	0,80	31,5	200	29,0
	S31260	7,80	502			200	29,0
2507 / 1.4410	S32750	7,75	485	0,80	31,5	200	29,0
	S32760	7,80		0,85	33,5	190	27,6
	S32707	7,80	470	0,75	29,5	197	28,5

Quelle: IMOA

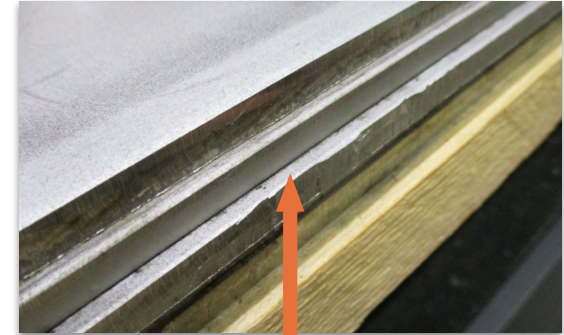
Schneiden und Zerspanen

Unterschiede zu austenitischen Stählen?

- > Gleiche Verfahren wie bei austenitischen Stählen und Kohlenstoffstählen
- > Es gelten jedoch andere Prozessparameter:
 - Duplexstähle weisen eine höhere Festigkeit und Kaltverfestigung auf
 - Anderes thermisches Verhalten

Wo liegen die Unterschiede?

- > **Scherschneiden**
 - Die maximal schneidbare Dicke mit demselben Schneidwerkzeug beträgt etwa 75 % der Dicke bei austenitischen Stählen
 - Beispiel: Kann eine Tafelschere 4307 bis 8 mm schneiden, ist sie bei 4462 auf 6 mm begrenzt
- > **Längsteilen**
 - Duplex-Coils können auf denselben Längsteilanlagen verarbeitet werden
 - Evtl. sind andere Messerstähle (festigkeitsabhängig) und andere Schneidspalteinstellungen notwendig
 - Der höhere Werkzeugverschleiß erfordert im Vergleich zu austenitischen Stählen eine häufigere Kontrolle der Schnittkantenqualität



Zerspanen

- > Beim Schmelzen und Raffinieren von Duplex wird ein möglichst niedriger Schwefelgehalt angestrebt: Dadurch steht kein natürlicher „Spanbrecher“ zur Verfügung
- > Die hohe Festigkeit und Kaltverfestigung erschweren die Zerspanung von Duplexstählen

Umformen

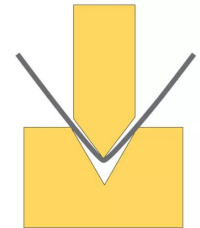
Was ist anders als bei austenitischen Stählen?

- > Höhere Festigkeit und stärkere Neigung zur Kaltverfestigung bei plastischer Verformung
- > Duktilität nur etwa halb so hoch wie bei austenitischen Stählen: gegebenenfalls ist eine Zwischenglühung erforderlich
- > Das Umformverhalten entspricht etwa dem eines doppelt so dicken Blechs aus 1.4404
- > Viele Anwendungen, die von den klassischen Güten 1.4307 und 1.4404 bekannt sind, sind möglich:
 - Rundbiegen von Blechen für Behältermäntel
 - Kaltumformen von Klöpperböden
- > Bei Anwendungen, bei denen der Werkstoff überwiegend gestreckt oder durch Sprengumformen umgeformt wird, ist die Eignung von Duplex begrenzt und/oder eine Anpassung des Prozesses kann aufwendig sein:
 - Tiefziehen
 - Wärmetauscherplatten



Rückfederung und Biegen

- > Aufgrund ihrer hohen Festigkeit und ausgeprägten Kaltverfestigung weisen Duplexstähle eine stärkere Rückfederung als Kohlenstoffstähle oder ferritische Edelstähle auf
- > Aufgrund der geringeren Duktilität ist ein stärkeres Überbiegen erforderlich, um die Rückfederung auszugleichen
- > Beispiel: Während bei 1.4307 ein Überbiegen um 10° erforderlich ist, um einen Winkel von 90° zu erzielen, benötigen Duplex-Edelstähle etwa 25° Überbiegung, um denselben Endwinkel zu erreichen



Schweißen

Austenitische Stähle vs. Duplex – Erstarrungs- und Rissmechanismen

> Austenitische Stähle

- Hoher Wärmeausdehnungskoeffizient und geringe Wärmeleitfähigkeit
>> Dadurch hohe Neigung zu Verzug und Heißrissbildung
- Schweißzusätze werden gezielt so ausgelegt, dass ein geringer Ferritanteil erhalten bleibt. Dieser bindet niedrigschmelzende Verunreinigungen wie Schwefel und Phosphor und trägt so zur Vermeidung von Rissen bei.

> Duplex

- 100% ferritische Erstarrung
- Da Ferrit Verunreinigungen gut lösen kann, weisen Duplexstähle eine hohe Beständigkeit gegen Heißrissbildung auf
- Hier besteht das gegenteilige Risiko: Bei zu schneller Abkühlung kann ein vollständig ferritisches Gefüge erhalten bleiben. Dies führt zu geringer Zähigkeit und Korrosionsbeständigkeit. Bei zu langsamer Abkühlung kann sich **Sigma-Phase** ausscheiden. Weitere unerwünschte Effekte sind möglich, z. B. die Ferritzersetzung bei 475 °C
- Die Schweißnahtgestaltung muss eine vollständige Durchschweißung ermöglichen und unaufgeschmolzenen Grundwerkstoff vermeiden
- Die Kanten sollten vor dem Schweißen vorzugsweise spanend bearbeitet statt geschliffen werden

Schweißen (Fortsetzung)

Unerwünschte Phasenausscheidungen in Duplex-Edelstählen

- > Sigma-Phase (σ) und Alpha-Prime-Phase (α') treten am häufigsten auf
- > Diese Phasen können entstehen, wenn Duplexstähle während der Fertigung, Wärmebehandlung oder beim Schweißen ungeeigneten Temperaturen ausgesetzt werden
- > Beide Phasen beeinträchtigen die Gefügeeigenschaften erheblich. Sie führen zu starker Versprödung und verringern die Korrosionsbeständigkeit

Wie lassen sie sich vermeiden?

- > Lösungsglühen, typischerweise zwischen 1.050 °C und 1.100 °C, um intermetallische Phasen aufzulösen, anschließend schnelles Abschrecken in Wasser
- > Durch die schnelle Abkühlung wird das gewünschte Ferrit-Austenit-Verhältnis von etwa 50/50 „eingefroren“, bevor sich Sigma- oder Alpha-Prime-Phasen ausscheiden können
- > Beim Mehrlagenschweißen: Zwischenlagentemperatur auf < 150 °C begrenzen

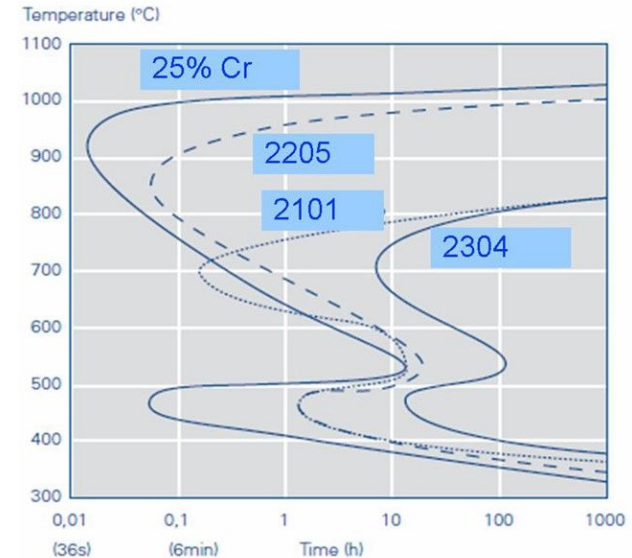


Diagramm: 50 % Zähigkeitsverlust infolge der Bildung intermetallischer Phasen – Unterschiede im Verhalten verschiedener Duplex-Typen.

Quelle: BSSA

Schweißen (Fortsetzung)

Austenitische Stähle vs. Duplex beim Schweißen: Zusammenfassung

	Austenitischer Edelstahl (4307 – 4404 – 4571)	Duplex-Edelstahl (4162 - 4362 - 4462 - 4410)
Zielgefüge	100 % Austenit (mit 3–10 % Restferrit)	Strikt 40–60 % Ferrit / 40–60 % Austenit
Hauptrisiko beim Schweißen	Heißrissbildung (Erstarrungsrisse)	Bildung der Sigma-Phase und zu hoher Ferritanteil
Wärmeeinbringung	Niedrig halten, um Verzug und Rissbildung zu minimieren	Moderat halten: strikt 0,5–2,5 kJ/mm
Erforderliche Abkühlgeschwindigkeit	So schnell wie möglich*	Kontrolliert: zu schnell → Ferrit bleibt erhalten; zu langsam → Sigma-Phase bildet sich
Zwischenlagentemperatur	Niedrig bis moderat (typischerweise < 150 °C)	Strikt begrenzt: 150 °C für Super Duplex; 250 °C für Standard Duplex
Schweißzusatz	An die chemische Zusammensetzung angepasst (z. B. ER316L)	Höher legiert mit 2–3 % zusätzlichem Nickel (z. B. ER2209)
Formier-/Schutzgas	Reines Argon (oder Argon-Wasserstoff-Gemische)	Argon mit 1–3 % Stickstoffzusatz
Vorwärmen	Strikt vermeiden (erhöht das Rissrisiko)	Strikt vermeiden (begünstigt die Bildung der Sigma-Phase)

*Dünne Querschnitte vertragen eine sehr schnelle Abkühlung, die typischerweise zwischen 50 °C/s und 200 °C/s kontrolliert wird.

Anwendungen

Korrosionsbeständigkeit – Festigkeit – Wirtschaftlichkeit

> Korrosionsbeständigkeit

- Rauchgasentschwefelung, Meerwasserentsalzung, Öl- und Gasindustrie
- Im Wettbewerb mit superaustenitischen Stählen (4539–4547) und Nickellegierungen

> Festigkeit

- Bei vergleichbarer Korrosionsbeständigkeit weisen Duplexstähle eine höhere Festigkeit als die entsprechenden austenitischen Güten 4307–4404 auf und bieten damit Potenzial zur Gewichtseinsparung
- Dies wird im Tank- und Silobau sowie bei Bauprodukten genutzt, beispielsweise bei Mauerwerksbefestigungen

> Wirtschaftlichkeit

- Die Herstellung von Duplex-Edelstählen ist technisch anspruchsvoll und kostenintensiv
- Dies spiegelt sich im Verkaufspreis wider
- Betrachtet man jedoch die Gesamtbetriebskosten (Total Cost of Ownership), können sich wirtschaftliche Vorteile ergeben:
 - ┃ geringerer Nickelgehalt und dadurch stabile Preisentwicklung über die Zeit
 - ┃ höhere Festigkeit ermöglicht geringeres Gewicht und eine einfache Handhabung: weniger Materialeinsatz und geringerer Materialumschlag



Oberflächenbehandlung nach dem Schweißen

Kein Unterschied zu anderen Edelstählen – ebenso wichtig

- > Verfärbungen, Schweißspritzer und Eisenpartikel verringern die Korrosionsbeständigkeit von Edelstahl
- > Eine fachgerechte Nachreinigung ist erforderlich, um die Korrosionsbeständigkeit des Edelstahls wiederherzustellen
- > Dies gilt ebenso für Duplex-Edelstähle
- > Verschiedene Verfahren sind möglich:
 - **Polieren** ist möglich, jedoch sehr zeitaufwendig
 - **Elektropolieren** wird nur selten eingesetzt – fachkundige Beratung ist erforderlich
 - Aufgrund ihres hohen Chromgehalts sind Duplex-Edelstähle **schwer zu beizen**; der Beizvorgang kann mehrere Tage dauern
 - **Strahlen mit anschließendem Beizen** ist effizienter



Normen



In denselben Normen wie austenitische und ferritische Edelstähle aufgeführt

> Allgemeine Anwendungen

- EN 10088-2 (Flacherzeugnisse) – EN 10088-3 (Langerzeugnisse)

> Druckbehälter

- EN 10028-7 (Werkstoffe)
- PED, AD 2000-W2 (Regelwerk)

> Bauwesen

- EN 10088-4 und EN 10088-5 (Flach- und Langerzeugnisse für das Bauwesen)
- Deutschland: aufgeführt in der bauaufsichtlichen Zulassung „Erzeugnisse, Bauteile und Verbindungselemente aus nichtrostenden Stählen“ / Korrosionswiderstandsklasse gemäß Prüfergebnissen

Übersicht der Stahlgüten nach DIN EN 10088

No.	Material number	Ref. note	Short name	Microstructure	CRC class	Corrosion resistance
1	1.4003	2	X20CrNi12	Ferritic	I	Low
2	1.4016		X6Cr17	Ferritic	I	Low
3	1.4512		X2CrTi12	Ferritic	I	Low
4	1.4301	2	X5CrNi18-10	Austenitic	II	Moderate
5	1.4306		X2CrNi19-11	Austenitic	II	Moderate
6	1.4307	2	X2CrNi18-9	Austenitic	II	Moderate
7	1.4567	2	X3CrNiCu18-9-4	Austenitic	II	Moderate
8	1.4541	2	X6CrNiTi18-10	Austenitic	II	Moderate
9	1.4318	2	X2CrNiN18-7	Austenitic	II	Moderate
10	1.4311		X2CrNi18-10	Austenitic	II	Moderate
11	1.4482	5	X2CrMnNiMoN21-5-3	Austenitic-ferritic	II	Moderate
12	1.4401	2	X5CrNiMo17-12-2	Austenitic	III	Medium
13	1.4404	2	X2CrNiMo17-12-2	Austenitic	III	Medium
14	1.4578	2	X3CrNiCuMo17-11-3-2	Austenitic	III	Medium
15	1.4571	2	X6CrNiMoTi17-12-2	Austenitic	III	Medium
16	1.4406		X2CrNiMoN17-11-2	Austenitic	III	Medium
17	1.4429	6	X2CrNiMoN17-13-3	Austenitic	III	Medium
18	1.4432		X2CrNiMo17-12-3	Austenitic	III	Medium
19	1.4435		X2CrNiMo18-14-3	Austenitic	III	Medium
20	1.4362	2	X2CrNiN23-4	Austenitic-ferritic	III	Medium
21	1.4062	2	X2CrNiN22-2	Austenitic-ferritic	III	Medium
22	1.4162	2	X2CrMnNiN21-5-1	Austenitic-ferritic	III	Medium
23	1.4662	2	X2CrNiMnMoCuN24-4-3-2	Austenitic-ferritic	III	Medium
24	1.4439		X2CrNiMoN17-13-5	Austenitic	IV	Strong
25	1.4462	2	X2CrNiMoN22-5-3	Austenitic-ferritic	IV	Strong
26	1.4539	2	X1NiCrMoCu25-20-5	Austenitic	IV	Strong
27	1.4565		X2CrNiMnMoN25-18-6-5	Austenitic	V	Very strong
28	1.4529	2	X1NiCrMoCuN25-20-7	Austenitic	V	Very strong
29	1.4547	2	X1CrNiMoCuN20-18-7	Austenitic	V	Very strong
30	1.4410	6	X2CrNiMoN25-7-4	Austenitic-ferritic	V	Very strong
31	1.4501	6	X2CrNiMoCuWN25-7-4	Austenitic-ferritic	V	Very strong
32	1.4507	6	X2CrNiMoCuN25-6-3	Austenitic-ferritic	V	Very strong

Wo finden Sie Unterstützung?

Informationen von Herstellern und Branchenverbänden

- > **Aperam** https://www.aperam.com/sites/default/files/documents/eBook_Duplex_en_web.pdf
- > **Informationsstelle Edelstahl Rostfrei (ISER)**
<https://www.edelstahl-rostfrei.de/werkstoff/gruppen-nichtrostender-staehle/nichtrostende-duplex-staehle>
- > **International Molybdenum Association (IMOA)**
“Practical Guidelines for the Fabrication of Duplex Stainless Steels” | German version
https://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/Duplex_Stainless_Steel_German.pdf





Benoît van Hecke

Head of Technical Customer Support
Commercial Team Capital Goods
benoit.vanhecke@aperam.com

Vielen Dank
Für Ihre Aufmerksamkeit