UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN

Offen im Denken

Bemessung von nichtrostenden Stählen

Universität Duisburg-Essen
Institut für Metall- und Leichtbau

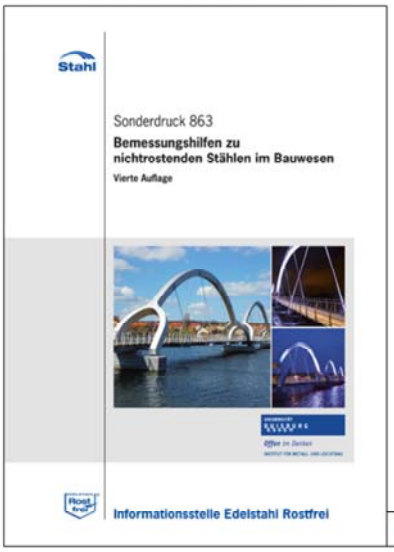
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Natalie Stranghöner
Sebastian Stehr M.Sc.

www.uni-due.de/iml

Übersicht

- Einführung und typische Anwendungsgebiete
- Materialeigenschaften
- Werkstoffauswahl
- Bemessung von Bauteilen und Anschlüssen
- Bemessung im Brandfall
- Unterlagen und Hilfen zur Bemessung für Ingenieure und Ingenieurinnen

„Bemessungshilfen zu nichtrostenden Stählen im Bauwesen“



- Erläuterungen
- Bemessungsbeispiele
- Kommentar
- Software und
- Apps

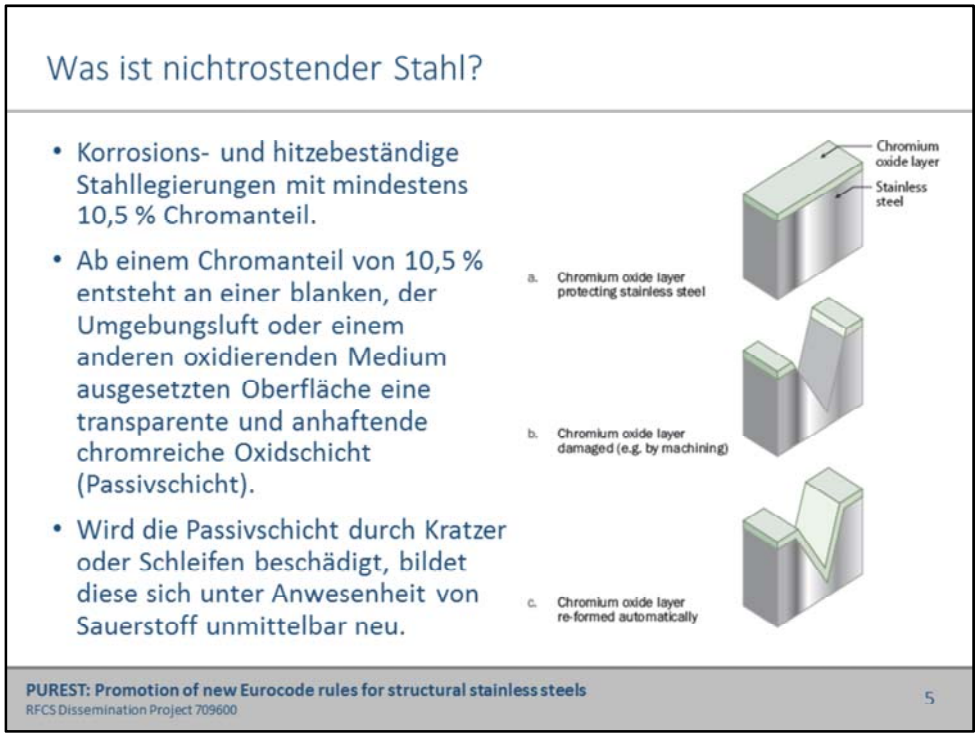
www.steel-stainless.org/designmanual

1. Auflage: 1993
2. Auflage: 2002
3. Auflage: 2006
4. Auflage: 2017

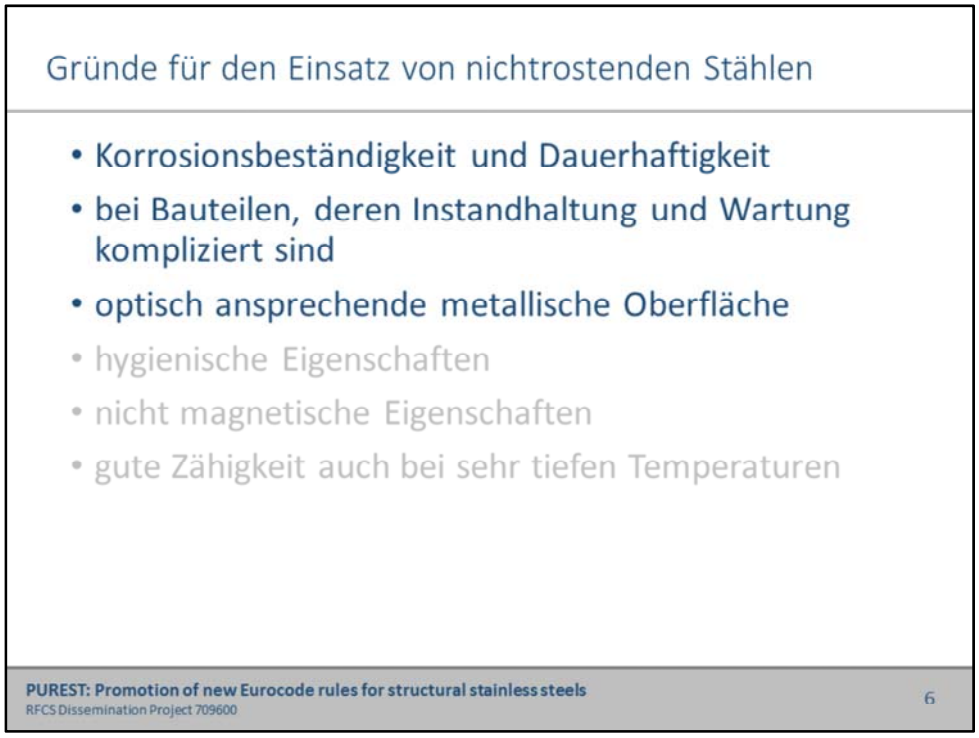
ISBN 978-1-85942-228-1

Übersicht

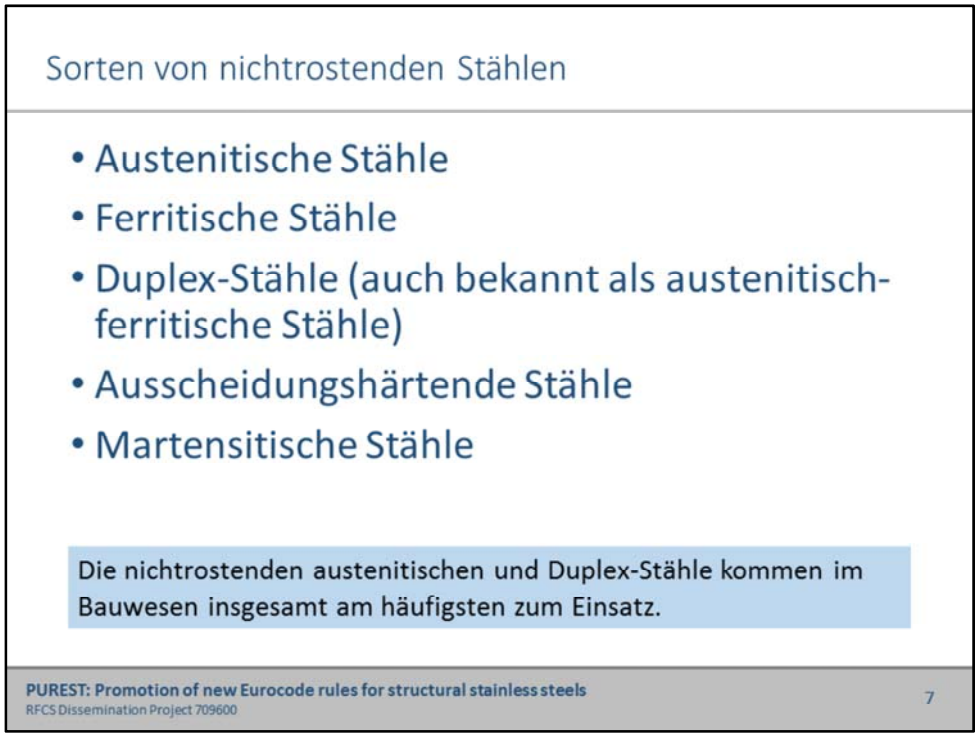
- Einführung und typische Anwendungsgebiete
- Materialeigenschaften
- Werkstoffauswahl
- Bemessung von Bauteilen und Anschlüssen
- Bemessung im Brandfall
- Unterlagen und Hilfen zur Bemessung für Ingenieure und Ingenieurinnen



Nichtrostender Stahl ist die Bezeichnung für korrosions- und hitzebeständigen Stahl. Es existiert eine große Bandbreite an nichtrostenden Stählen, welche unterschiedliche Korrosionswiderstände und/oder Festigkeiten bieten. Übersteigt der Chromanteil einen Wert von 10,5 %, entsteht eine transparente und fest anhaftende chromreiche Oxidschicht an der Stahloberfläche.



Nichtrostende Stähle kommen im Bauwesen schon seit ihrer Entwicklung zum Einsatz. Sie besitzen eine gute Korrosionsbeständigkeit und sind geeignet für Anwendungen bei denen die Instandhaltung und Wartung kompliziert ist. Nichtrostende Stähle sind mit den unterschiedlichsten Oberflächenbeschaffenheiten erhältlich. Sie können mit einer großen Anzahl an üblichen technischen Möglichkeiten be- und verarbeitet werden und sind am Ende ihrer Gebrauchsdauer vollständig recyclebar. Nichtrostende Stähle zeigen gute Festigkeits-, Zähigkeits- und Ermüdungseigenschaften. Sie sind grundsätzlich sehr einfach zu reinigen und daher eine gute Wahl für Anwendungen in der Nahrungs- und Getränkeindustrie sowie für jegliche Ausrüstung in der Lebensmittelverarbeitung. Es gibt keine nachweislichen Gesundheitsrisiken bei einem herkömmlichen Einsatz von nichtrostenden Stählen. Nichtrostende austenitische Stähle sind grundsätzlich nicht magnetisch, können aber durch eine Kaltverfestigung geringfügig magnetisch werden.



Nichtrostende Stähle lassen sich in fünf Gruppen aufteilen:
Austenitische Stähle sind duktil und verhältnismäßig fest. Sie weisen eine gute Schweißbarkeit auf und sind leicht kaltumformbar. Durch Kaltverfestigung können höhere Festigkeiten erzielt werden. Sie werden häufig im Bauwesen eingesetzt.
Martensitische Stähle sind weniger korrosionsbeständig als Austenite; sie können durch eine Wärmebehandlung verfestigt werden und erhalten dabei sehr hohe Zugfestigkeiten. Sie kommen bei Ventilen, Messerklingen und Stanzen zum Einsatz.
Ferritische Stähle weisen eine geringer Festigkeit und Duktilität auf als Austenite. Ihre Korrosionsbeständigkeit ist grundsätzlich ebenfalls geringer als die von Austeniten. Sie kommen im Innenausbau zum Einsatz.
Die Mikrostruktur von Duplex-Stählen besteht sowohl aus Austenit als auch aus Ferrit. Sie weisen höhere Festigkeiten als Austenite auf, sind aber nicht so gut bearbeitbar. Ihre Korrosionsbeständigkeit ist besser als bei Austeniten. Sie kommen in der Papier-, Chemie-, Öl- und Bauindustrie zum Einsatz.
Ausscheidungshärtende Stähle besitzen sehr gute mechanische Eigenschaften und vergleichbare Korrosionsbeständigkeiten wie Austenite. Sie kommen in hoch belasteten Maschinenbauteilen, meist in der Luft- und Raumfahrtindustrie zum Einsatz.
Aufgrund ihrer mechanischen Eigenschaften, wie der Korrosionsbeständigkeit, Formbarkeit und Schweißbarkeit kommen Austenite und Duplex-Stähle am häufigsten im Bauwesen zum Einsatz.

Eigenschaften der im Bauwesen verwendeten Stahlsorten

Stahlsorte	Festigkeit	Duktilität	Magnetisch	Schweißbar	Formbar
Austenit	●●	●●●	✗	✓	●●●
Duplex	●●●	●●	✓	✓	●●

PUREST: Promotion of new Eurocode rules for structural stainless steels
RFCS Dissemination Project 709600 8

In dieser Tabelle sind die Eigenschaften von Austeniten und Duplex-Stählen zusammengefasst. Nichtrostende austenitische Stähle sind duktiler aber weisen geringere Festigkeiten auf als Duplex-Stähle. Austenite sind grundsätzlich nicht magnetisch, allerdings kann nach einer Kaltverfestigung ein gewisser Magnetismus entstehen. Duplex-Stähle sind höher legiert und weisen daher eine höhere Korrosionsbeständigkeit auf.

Grundsätzlich können alle Herstellungsverfahren, die bei Baustählen zum Einsatz kommen, auch für nichtrostende Stähle angewendet werden, allerdings müssen dabei die unterschiedlichen physikalischen und mechanischen Eigenschaften sowie die notwendige Vermeidung von Verunreinigungen berücksichtigt werden.

Übliche nichtrostende Stahlsorten im Bauwesen

	EN Nummer	Gängige Bezeichnung	Durchschnittlicher bezogener Kostenfaktor
Cr-Ni Standardaustenite	1.4301	304	1
	1.4307	304L	
Cr-Ni-Mo Austenite	1.4401	316	1,3
	1.4404	316L	
Lean Duplex	1.4162	2101	1
Duplex	1.4462	2205	1,3

Diese Tabelle zeigt die nichtrostenden Stahlsorten, die im Bauwesen am häufigsten zum Einsatz kommen. Angegeben wird sowohl die europäische Werkstoffnummer als auch die gängige Bezeichnung, anhand des US AISI Bezeichnungssystems. Zusätzlich wird ein durchschnittlicher bezogener Kostenfaktor angegeben, wobei dieser jedoch Schwankungen unterliegt, die stark vom Nickelpreis abhängen.

Tragwerke

"The Gap"
Western Australia
© David Iles

Stützen aus nichtrostendem Stahl, Eingangsüberdachung des "Seven World Trade Center", New York
© Catherine Houska

Industrieanwendungen

Zugangswege und Leitern
© Ancon Building Products

Unterkonstruktion einer Offshore Wiederverdampfungsanlage
© Montanstahl

Zugangswege in Zellstoff- und Papierfabriken
© Outokumpu

Brücken

Brücke in Cala Galdana, Menorca, Spanien
© Pedelta

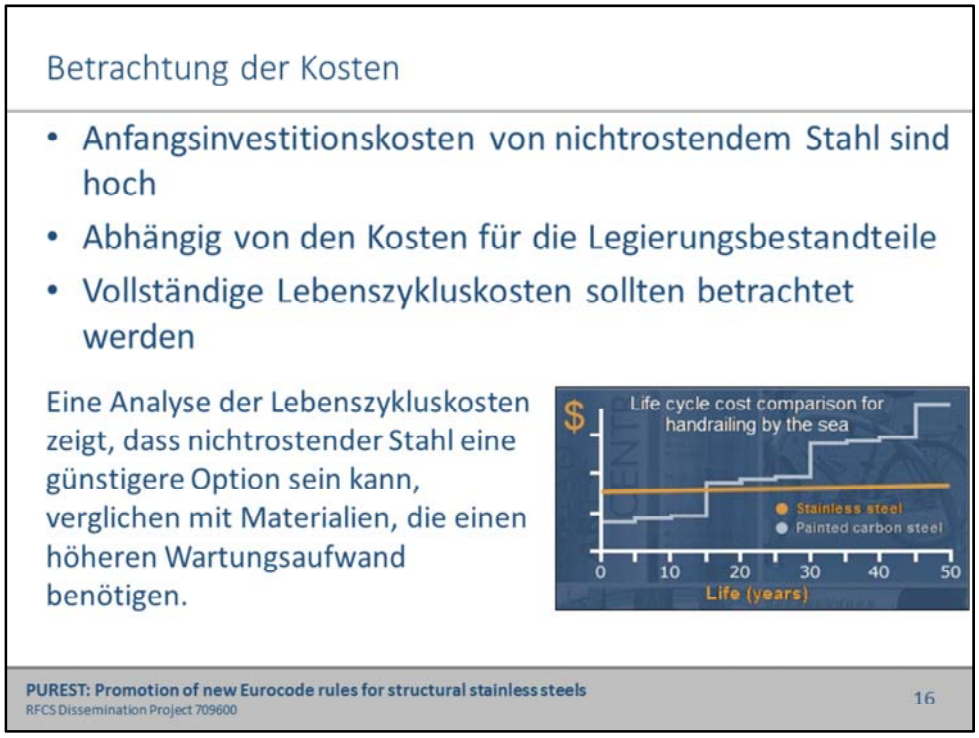
Helix-Brücke, Singapur, Republik Singapur
© IMOA

Brücke bei Fort York, Toronto, USA
© Pedelta

Nichtrostender Stahl kommt häufig für Stadtmöblierungen und Begrenzungsbauteile zum Einsatz. Die Korrosionsbeständigkeit sowie die Festigkeit des Materials verringert die Anforderungen an die Wartung und verbessert die Sicherheit.
Die „Cloud Gate“ Skulptur (Foto unten links) wurde zwischen 2004 und 2006 errichtet und erhielt wegen der einer Bohne ähnelnden Form den Spitznamen „The Bean“. Sie besteht aus 168 miteinander verschweißten nichtrostenden Stahlplatten und hat eine hochglanzpolierte Oberfläche, auf der keine Schweißnähte mehr zu erkennen sind. Die Skulptur ist 10 m hoch, 20 m breit und 13 m tief, bei einer Masse von ca. 100t.

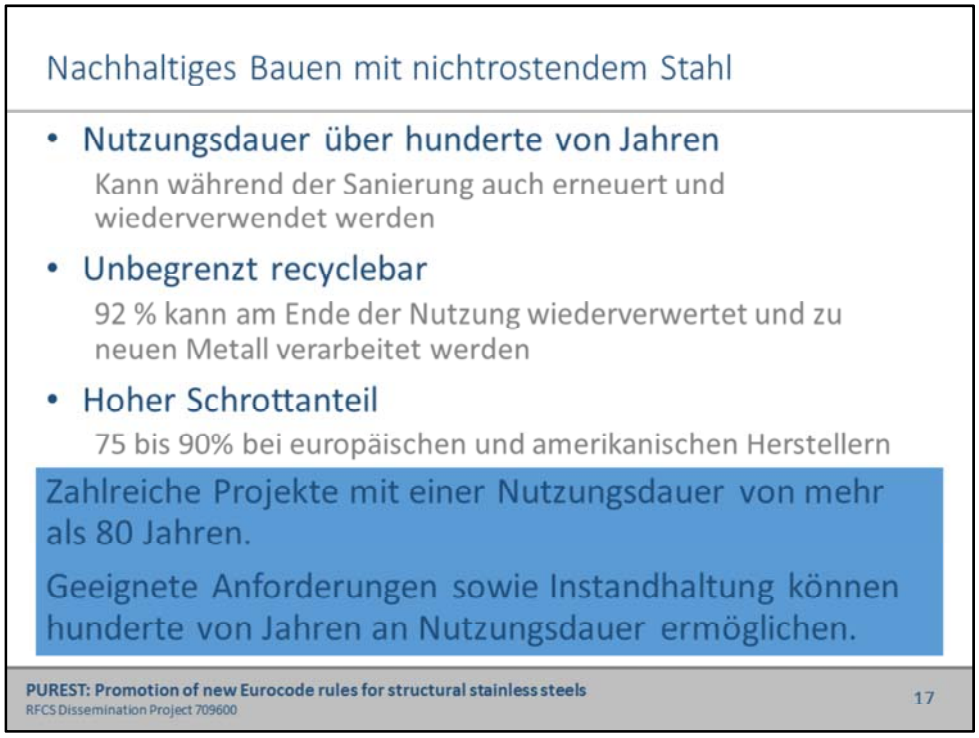
Die gute Korrosionsbeständigkeit von nichtrostenden Stählen macht sie zu idealen Materialien für Befestigungselemente in Holz, Stein und Mauerwerk, für Ankersysteme und Stützwinkel. Die Bauteile, die mit den Stahl gehalten oder verbunden werden sollen, sind of nicht zugänglich oder schwer zu ersetzen und nehmen im Laufe der Zeit Feuchtigkeit und korrosive Chemikalien auf oder sind manchmal von vorneherein korrosiv gegenüber anderen Materialien.

Nichtrostender Stahl wird zunehmend als ein sinnvolles Material für Verstärkungsmaßnahmen betrachtet, insbesondere um Korrosion durch Meer- oder Tausalze zu widerstehen.



Der Preis pro Tonne ist bei nichtrostendem Stahl zunächst höher als bei Baustahl. Der Preis für nichtrostenden Stahl ist dabei auch weniger stabil, da er stark vom Nickelpreis anhängt.

Wenn allerdings die gesamten Kosten eines Bauteils, inklusive der Kosten für Instandhaltung und Austausch, über dessen Lebensdauer betrachtet werden, kann sich nichtrostender Stahl als kostengünstiger erweisen. Das sind die sogenannten Lebenszykluskosten.

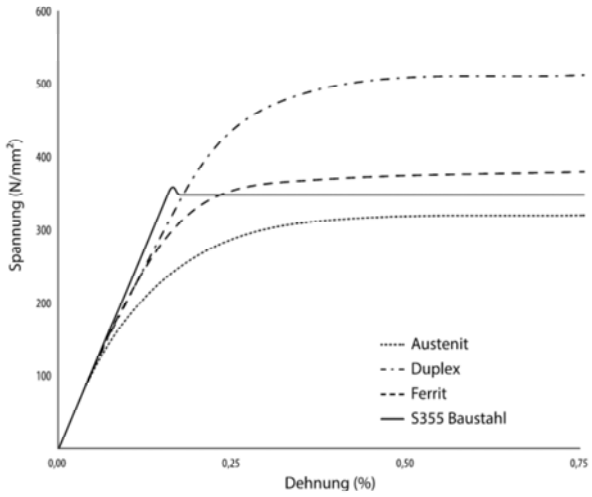


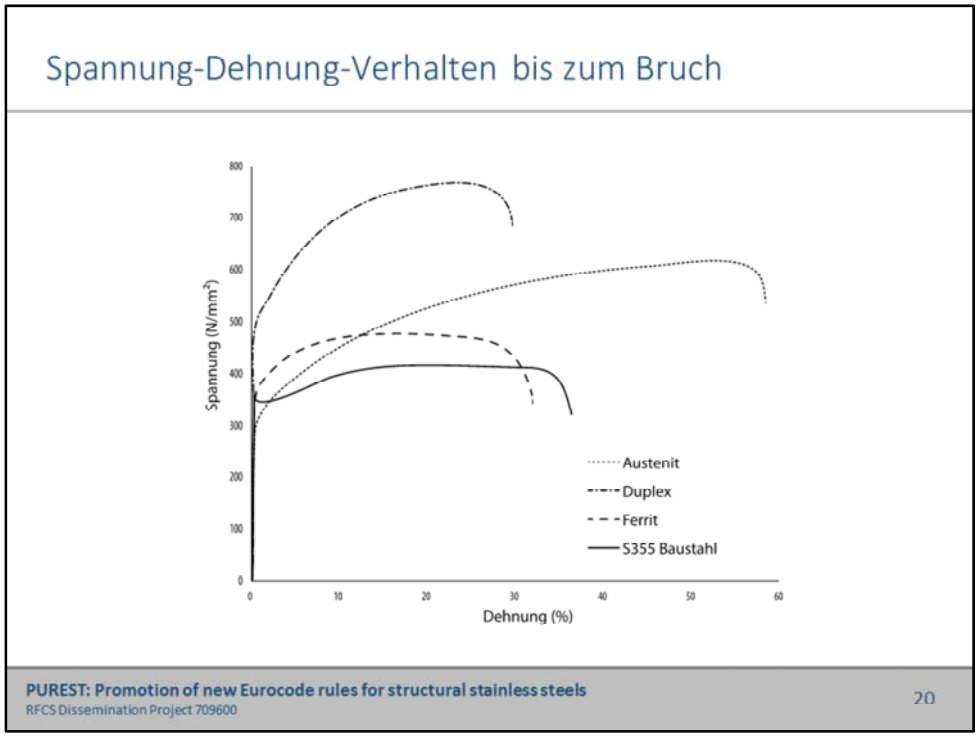
Nichtrostender Stahl hat einen hohen Restverwertungswert. Daher wird Schrott von Deponien bezogen und in neuem Metall wiederverwertet und somit sind die Recycling-Raten nach Ablauf der Lebensdauer sehr hoch. Eine internationale Studie zur Lebensdauer von nichtrostendem Stahl, bei der übliche Nutzungsdauern und abhängig vom Anwendungsfall, Recycling-Raten am Ende der Lebensdauer berücksichtigt wurden, ergab, dass bei industriellen Anwendungen sowie in der Bau- und Infrastrukturbranche 92 % des nichtrostenden Stahls am Ende der Lebensdauer in neuem nichtrostendem oder Baustahl wiederverwertet wird.
Hersteller von nichtrostendem Stahl verwenden so viel Schrott wie möglich, allerdings wird die Verfügbarkeit von Schrott durch die durchschnittliche Lebensdauer des Materials von 20 bis 30 Jahren begrenzt. Im Jahr 2002 schätzte das internationale Forum für nichtrostenden Stahl (ISSF), dass der typische Anteil an recyceltem Stahl in allen Sorten von nichtrostendem Stahl international bei ca. 60 % liegt. In Nordamerika und Europa hingegen liegt der typische Anteil an recyceltem Stahl in nichtrostendem austenitischem Stahl zwischen ca. 75 % und 90 %.

Übersicht

- Einführung und typische Anwendungsgebiete
- Materialeigenschaften
- Werkstoffauswahl
- Bemessung von Bauteilen und Anschlüssen
- Bemessung im Brandfall
- Unterlagen und Hilfen zur Bemessung für Ingenieure und Ingenieurinnen

Spannung-Dehnung-Verhalten bei geringen Dehnungen



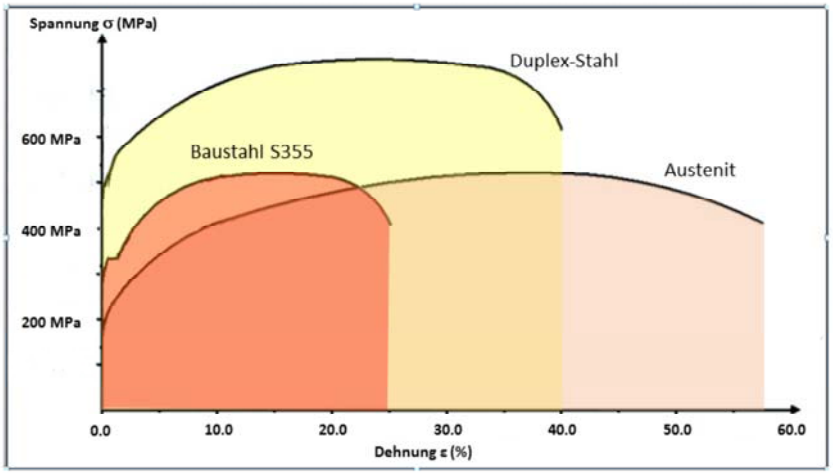


Die Abbildung zeigt Spannungs-Dehnungs-Kurven bis zum Bruch und ermöglicht somit einen Vergleich der Duktilität und Festigkeiten von nichtrostendem und Baustahl. Es ist zu erkennen, dass austenitischer nichtrostender Stahl wesentlich duktiler ist als Baustahl und außerdem eine höhere Festigkeit aufweist (die Fläche unterhalb der jeweiligen Spannungs-Dehnungs-Kurve gibt den Wert der aufgenommenen Energie wieder).

Duktilität – Die Fähigkeit gedehnt zu werden, ohne zu brechen
Festigkeit – Die Fähigkeit Energie aufzunehmen und plastische Verformungen mitzumachen, ohne zu brechen

Energieaufnahme

Nichtrostender Stahl hat dank seiner hohen Dehnungsverfestigung und hervorragenden Duktilität bessere Energieaufnahmeeigenschaften als Aluminium oder Baustahl



Bruchzähigkeit

Nichtrostende austenitische Stähle

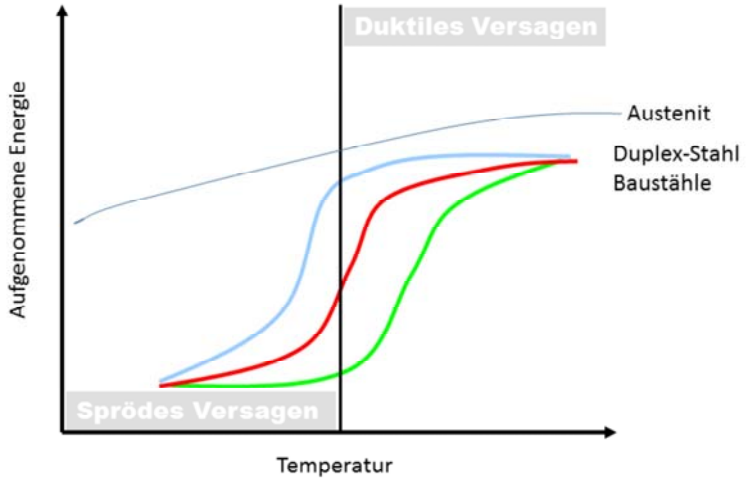
- Kein Übergang zwischen duktilem und sprödem Versagen
- Duktiles Versagen auch noch bei tiefen Temperaturen

Nichtrostende Duplex-Stähle

- Übergang zwischen duktilem und sprödem Versagen ähnlich wie bei Baustählen
- Ausreichende Festigkeiten auch noch bis -40 °C
- Bei geschweißten Verbindungen ist darauf zu achten, dass die Festigkeit in den Wärmeeinflusszonen erhalten bleibt

Bruchzähigkeit

Übergangskurve zwischen duktilem und sprödem Versagen (DBTT)

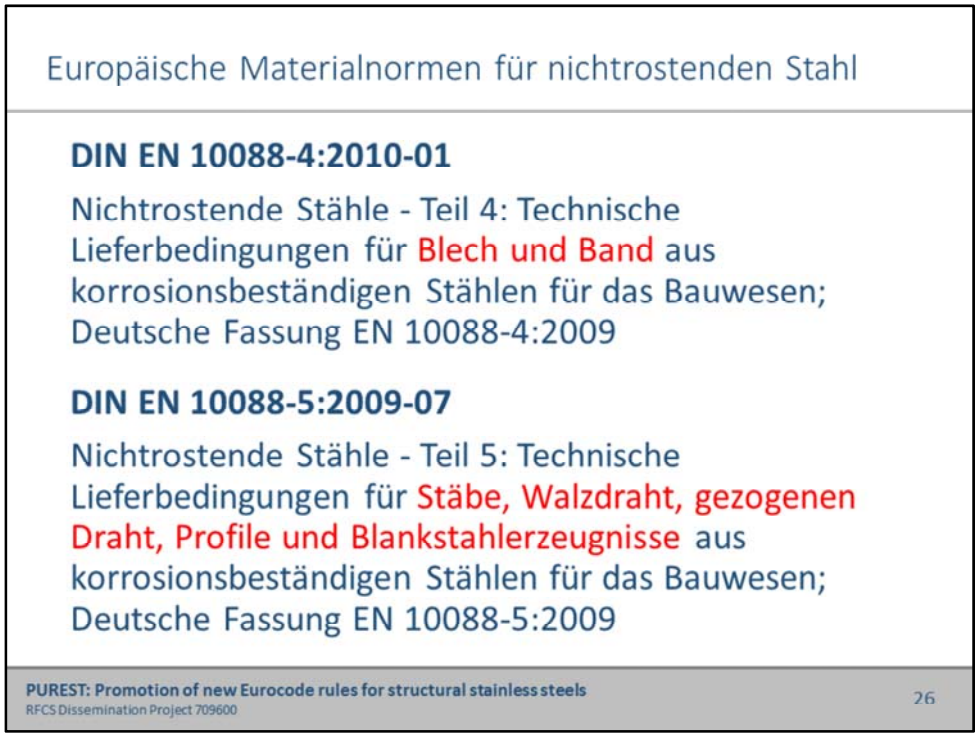


Ermüdung

- Die Ermüdungsfestigkeit von nichtrostenden Stählen ist vergleichbar mit der von Baustählen.
- Ermüdung wird durch die konstruktive Ausbildung von Anschlüssen beeinflusst.
- Die Ermüdungsfestigkeit von Konstruktionsdetails mit Austeniten bzw. Duplex-Stählen wird entsprechend den Regeln für Baustahl gemäß DIN EN 1993-1-9 ermittelt.

Verhalten bei Erdbeben

- Dank höherer Duktilität (Austenite) mehr Lastspiele möglich
  → größerer Hystereseenergieverlust bei zyklischer Beanspruchung
- Höhere Verfestigung
  → ermöglicht die Entstehung von großen, verformbaren plastischen Bereichen
- Starke Abhängigkeit von der Dehnungsgeschwindigkeit
  → höhere Festigkeiten bei hohen Dehnungs-geschwindigkeiten

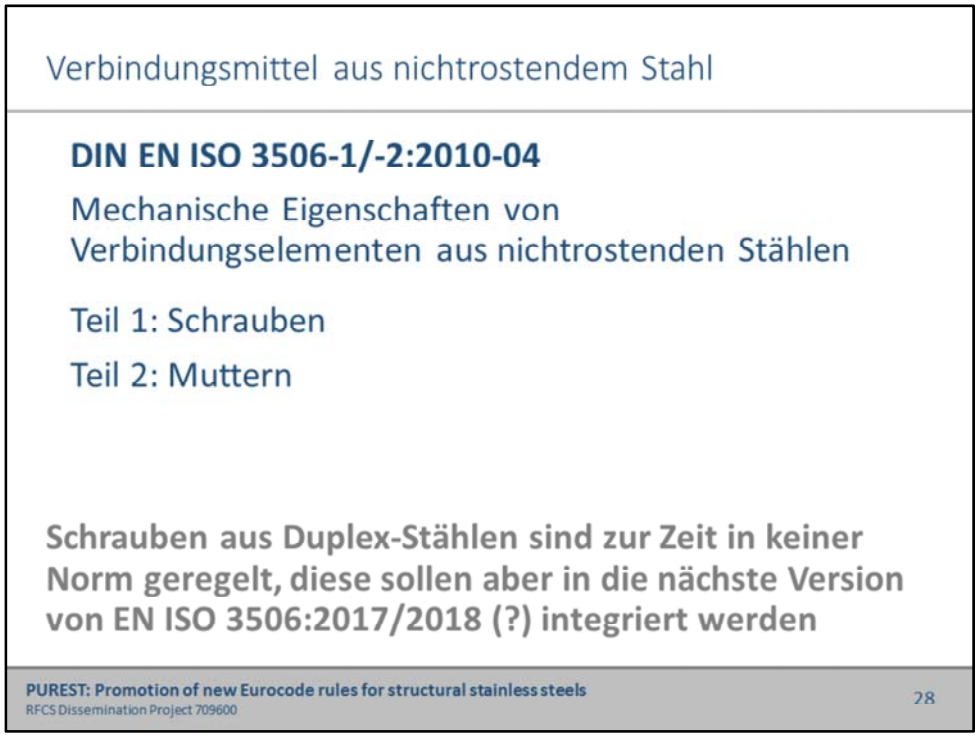


EN 10088-4 und -5 sind harmonisierte Normen, was bedeutet, dass sie die wichtigsten Anforderungen an die Bauprodukteverordnung einhalten. Sie enthalten die chemischen Zusammensetzungen und mechanischen Eigenschaften. Oberflächenbeschaffenheiten sind ebenfalls für eine Auswahl an Verfahrensabläufen angegeben.

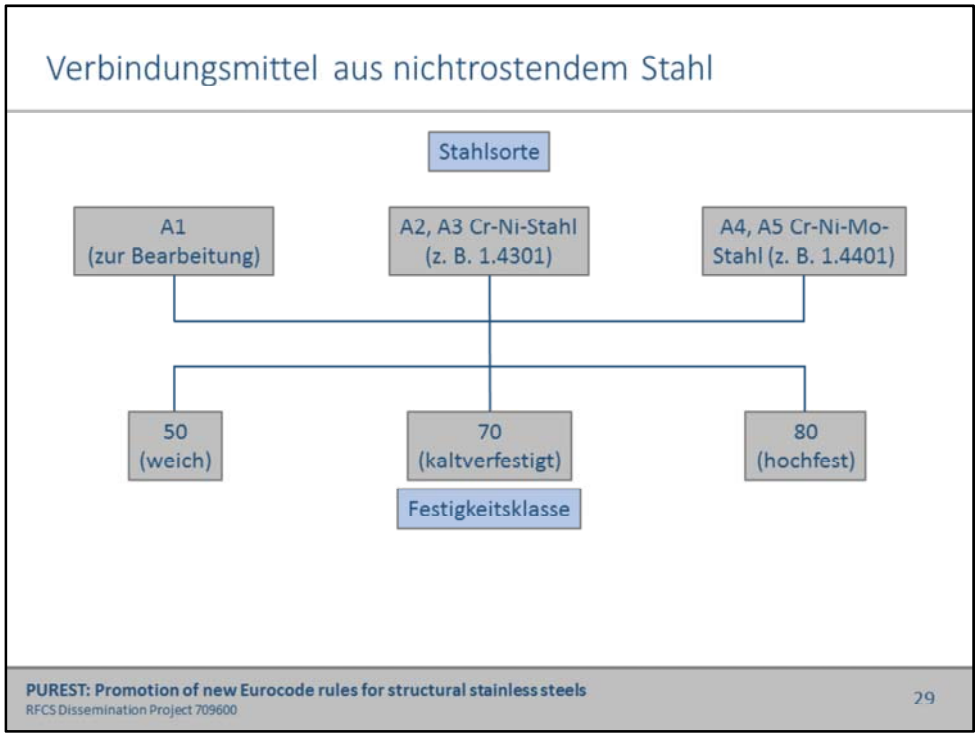
Mindestwerte der mechanischen Eigenschaften

Stahlsorte	Festigkeit N/mm²	Duktilität %	Steifigkeit (Elastizitätsmodul) N/mm²
Austenite 1.4301 und 1.4307 1.4401 und 1.4404	200 - 240	40	200 000
Duplex-Stähle Lean: 1.4062, 1.4162, 1.4362 usw. Standard: 1.4462	450 - 530	20	200 000
Baustahl S355	355	22	210 000

Mechanische Eigenschaften nichtrostender Stähle im (weich-) geglühten Zustand gemäß DIN EN 10088



EN ISO 3506 behandelt Verbindungsmittel aus nichtrostenden Stählen. Hier werden die chemischen Zusammensetzungen und mechanischen Eigenschaften für Verbindungsmittel aus nichtrostenden austenitischen, martensitischen und ferritischen Stählen angegeben. Weitere Materialien, die nicht ausdrücklich erwähnt werden, sind zulässig, wenn die Anforderungen an die physikalischen und mechanischen Eigenschaften erfüllt werden und sie gleichwertige Korrosionsbeständigkeiten aufweisen.



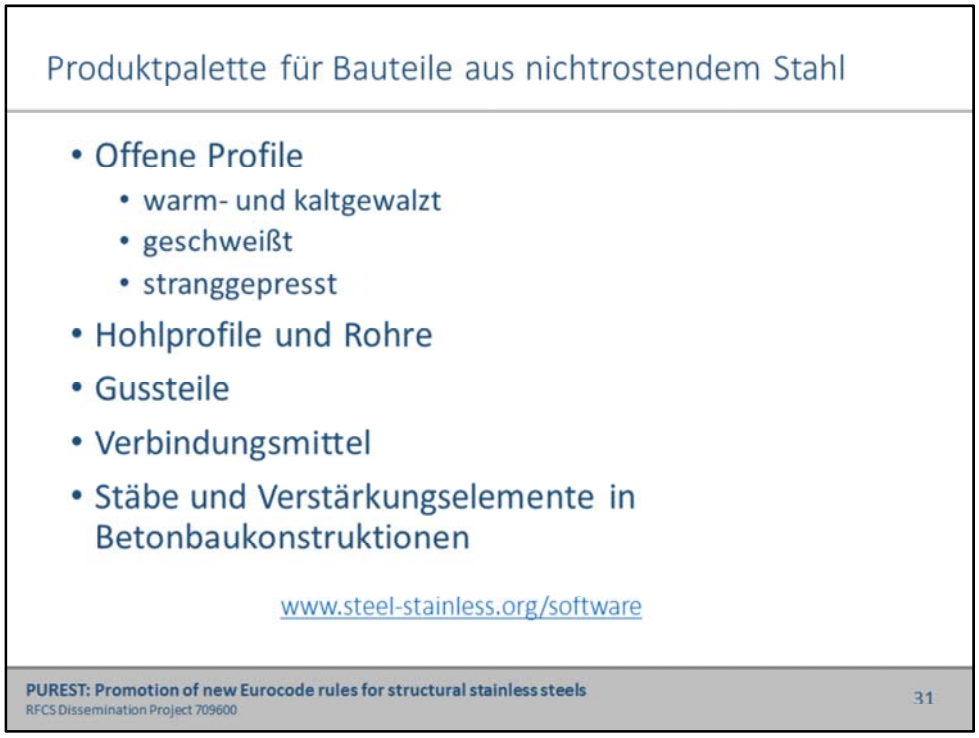
Entsprechend EN ISO 3506 werden die Werkstoffe für Schrauben und Muttern mit Buchstaben gekennzeichnet: “A“ für austenitisch, “F“ für ferritisch und “C“ für martensitisch. Um die beste Korrosionsbeständigkeit zu erreichen wird der Einsatz von austenitischen Schrauben empfohlen. Dem Buchstaben folgt eine Nummer (1, 2, 3, 4 oder 5), welche die Korrosionsbeständigkeit angibt; 1 entspricht dabei der geringsten Korrosionsbeständigkeit und 4 bzw. 5 der größten.
Die Stahlsorte A1 ist speziell zur Bearbeitung entwickelt worden. Aufgrund des hohen Schwefelgehalts ist die Korrosionsbeständigkeit gegenüber Stählen mit normalem Schwefelgehalt geringer. Daher sind Schrauben der Sorte A1 mit Sorgfalt auszuwählen. Schrauben der Sorten A2 und A3 haben Korrosionsbeständigkeiten vergleichbar mit einem Austenit der Sorte 1.4301 (304). Die Sorten A4 und A5 enthalten Molybdän und weisen ähnliche Korrosionsbeständigkeiten auf wie ein Austenit der Sorte 1.4401 (316). Verbindungsmittel aus nichtrostenden austenitischen Stählen sind mit drei Zugfestigkeiten (Festigkeitsklassen) erhältlich, 50, 70 und 80.

Verbindungsmittel aus nichtrostendem Stahl

Stainless steel group	Stainless steel grade	Property class	Tensile strength, R_m MPa	Stress at 0,2 % non-proportional elongation, R_{pf} MPa
Austenitic	A1, A2, A3, A5	50	500	210
		70	700	450
		80	800	600
	A4	50	500	210
		70	700	450
		80	800	600
		100	1000	800
	A8	70	700	450
		80	800	600
		100	1000	800
Duplex	D2, D4 D6, D8	70	700	450
		80	800	600
		100	1000	800

Nach EN ISO 3506:2017/2018 (?)

Die Tabelle zeigt die mechanischen Eigenschaften der drei Festigkeitsklassen für Verbindungsmittel aus nichtrostenden Stählen. Die mechanischen Eigenschaften von Verbindungsmitteln über M24 mit den Festigkeitsklassen 70 und 80 müssen zwischen dem Anwender und dem Hersteller abgesprochen werden, da die Werte von der Legierung und der Herstellungsmethode abhängen.



Es sei erwähnt, dass es, im Gegensatz zu Baustahl, keine Standardprofile aus nichtrostenden Stählen gibt, obwohl in den letzten Jahren das Angebot an warmgewalzten und lasergeschweißten offenen Profilen in den gleichen Abmessungen wie z. B. die IPE- oder HEA-Reihe aus der europäischen Profilpalette gewachsen ist. Da die Ermittlung von Querschnittseigenschaften ohne eine Datenbank mit weit verbreiteten Profilabmessungen kompliziert sein kann, gibt es eine kostenlose Software unter www.steel-stainless.org/software um die Ermittlung zu vereinfachen. Dort ist grundsätzlich eine große Auswahl an Profilformen und –abmessungen für nichtrostende austenitische Stähle verfügbar. Sonderanfertigungen und Kleinserien sind auch in den anderen Stahlsorten verfügbar.

Übersicht

- Einführung und typische Anwendungsgebiete
- Materialeigenschaften
- Werkstoffauswahl
- Bemessung von Bauteilen und Anschlüssen
- Bemessung im Brandfall
- Unterlagen und Hilfen zur Bemessung für Ingenieure und Ingenieurinnen

Vorgehensweise zur Stahlsortenauswahl

Anhang A der DIN EN 1993-1-4:2015-10 enthält eine neue Vorgehensweise zur Stahlsortenauswahl (DMSSS, Kapitel 3.5).

Korrosionsbeständigkeitsfaktor (CRF)
für die vorherrschenden Bedingungen

↓

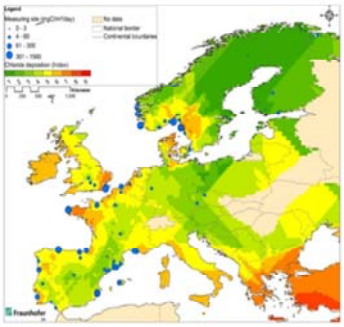
Korrosionsbeständigkeitsklasse (CRC)

Konstrukteure müssen nicht von vornherein eine spezielle Legierung wählen (weniger Verwirrung aufgrund der Vielzahl an möglichen nichtrostenden Stahlsorten)

Ermittlung des Korrosionsbeständigkeitsfaktors CRF

- Risiko der Exposition gegenüber Chloriden aus Salzwasser oder Tausalzen (F_1)
- Risiko der Exposition gegenüber Schwefeldioxid (SO_2) (F_2)
- Reinigungskonzept oder Exposition gegenüber Auswaschen durch Regen (F_3)

$$CRF = F_1 + F_2 + F_3$$



Basierend auf
- praktischen Erfahrungen an existierenden Bauwerken
- Expositionsversuchen
- Forschung über geographische Korrosionsabhängigkeit

Korrosionsbeständigkeitsfaktor CRF

$$CRF = F_1 + F_2 + F_3$$

Je kleiner der Wert des CRF wird, desto höher sind die Anforderungen an den Korrosionsschutz der Stahlsorte.

Ermittlung der Korrosionsbeständigkeitsklasse CRC	
Korrosionsbeständigkeitsfaktor (CRF)	Korrosionsbeständigkeitsklasse (CRC)
CRF = 1	I
0 ≥ CRF > -7	II
-7 ≥ CRF > -15	III
-15 ≥ CRF ≥ -20	IV
CRF < -20	V

Korrosionsbeständigkeitsklassen CRC

Steigende Legierungszusätze, d. h. höhere Korrosionsbeständigkeit

Stahlsorten in den Korrosionsbeständigkeitsklassen CRC				
I	II	III	IV	V
1.4003	1.4301	1.4401	1.4439	1.4565
1.4016	1.4307	1.4404	1.4539	1.4529
1.4512	1.4311	1.4435	1.4462	1.4547
	1.4541	1.4571		1.4410
	1.4318	1.4429		1.4501
	1.4306	1.4432		1.4507
	1.4567	1.4578		
	1.4482	1.4662		
		1.4362		
		1.4062		
		1.4162		

- Standardferrit
- Standardaustenit
- Molybdän-Austenit
- Lean-Duplex
- Hochlegierter Austenit/ Superaustenit
- Duplex/Super-Duplex

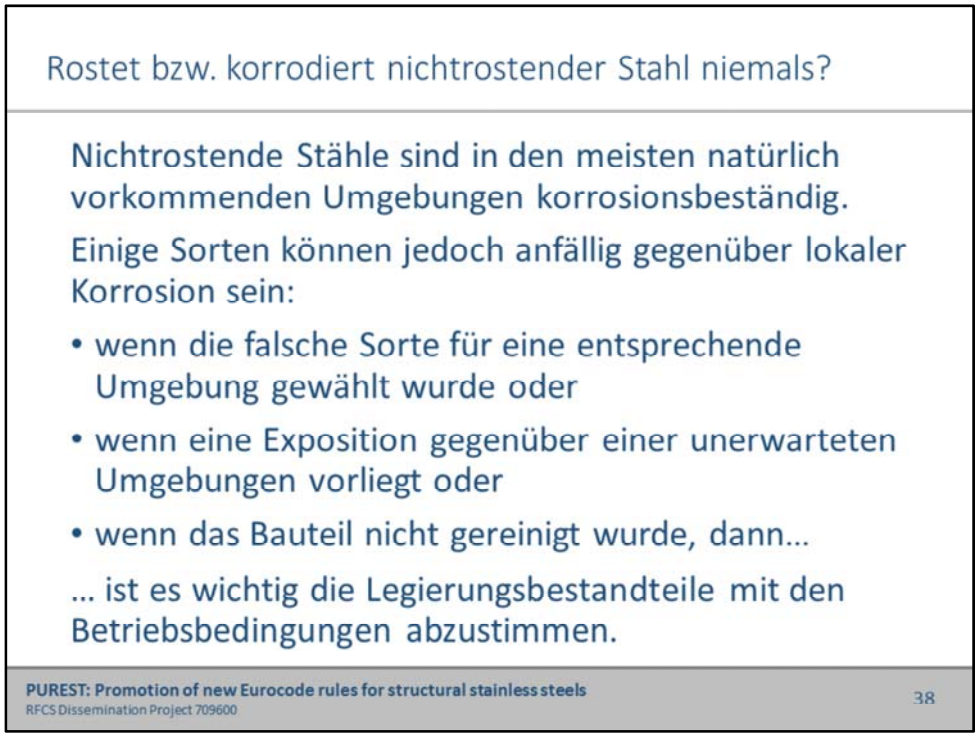
ANMERKUNG 1 Die Korrosionsbeständigkeitsklassen sind nur für die Anwendung mit dieser Vorgehensweise zur Stahlsortenauswahl vorgesehen und gelten nur für Konstruktionen, die eine tragende Funktion erfüllen.
ANMERKUNG 2 Die Stahlsorte einer höheren Klasse darf anstelle der durch den CRF vorgegebenen verwendet werden.

Spezialfall – Schwimmhallenatmosphäre

Tragende Bauteile in Schwimmhallenatmosphäre	Korrosionsbeständigkeitsklasse CRC
Tragende Bauteile, die regelmäßig gereinigt werden [1]	CRC III oder CRC IV (außer 1.4162, 1.4662, 1.4362 und 1.4062)
Tragende Bauteile, die nicht regelmäßig gereinigt werden	CRC V (außer 1.4410, 1.4501 und 1.4507)
Alle Befestigungs-, Verbindungsmittel und Gewindeteile	CRC V (außer 1.4410, 1.4501 und 1.4507)

[1] Wenn das Bauteil regelmäßig auf Anzeichen von Korrosion überprüft und gereinigt werden muss, sollte das dem Anwender in schriftlicher Form mitgeteilt werden. Die Überprüfung, das Reinigungsverfahren und die Häufigkeit sollten festgelegt sein. Je häufiger die Reinigung erfolgt, desto größer ist der Nutzen. Die Zeitspanne zwischen den Reinigungen sollte nicht größer als eine Woche sein. Ist die Reinigung festgelegt, sollte sie für alle Teile des Bauwerks gelten und nicht nur für die leicht zugänglichen und gut sichtbaren Bauteile.

- Stark korrosive Umgebungen
- Eintauchen in Wasser von Schwimmbecken ist unproblematisch
- Für tragende Bauteile, die nicht regelmäßig gereinigt werden können, sollen keine Standardaustenite verwendet werden – diese könnten aufgrund von Spannungsrisskorrosion (SCC) versagen



Eine der typischen Missverständnisse über nichtrostenden Stahl ist, dass diese niemals korrodieren.

One of the common misconceptions about stainless steel is that it does not corrode.

Corrosion can initiate when environmental conditions are too corrosive for the particular stainless steel specified. This could include exposure to corrosive chemicals, fumes, particulate and chlorides (coastal and deicing salts). Contamination with iron, carbon steel, residual adhesive from protective films, and other substances can also lead to surface corrosion.

Careful design and stainless steel selection should ensure trouble free performance, but designers should be aware that even stainless steels may be subject to various forms of corrosion under certain circumstances.

Korrosionsanfälligkeit bei nichtrostenden Stählen

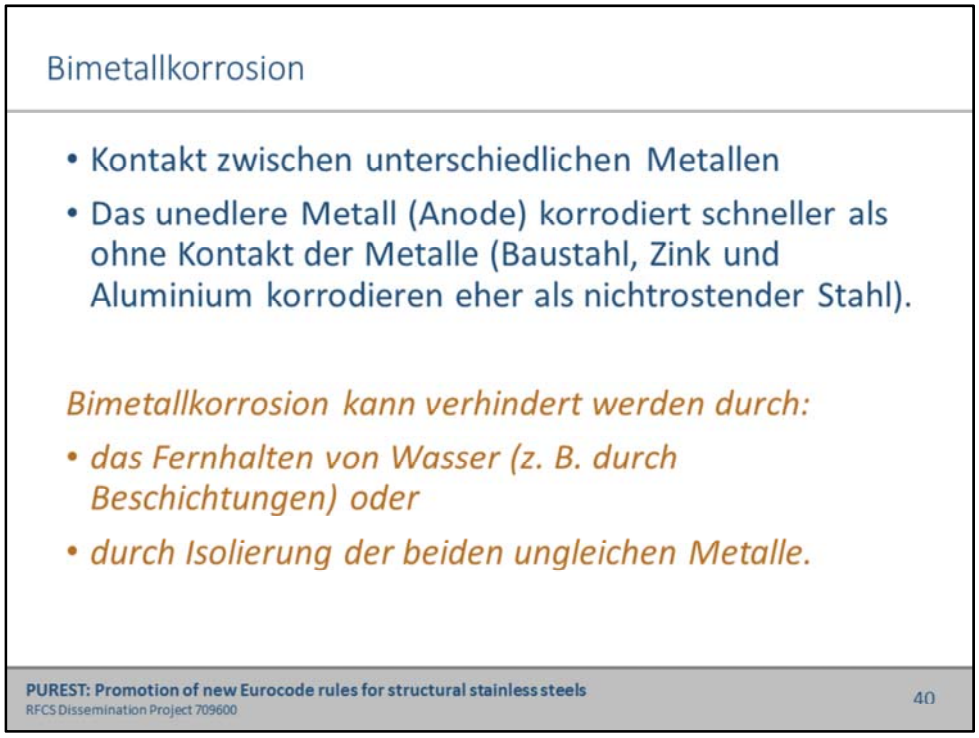
Gleichmäßige Korrosion	tritt weder in natürlichen Umgebungen noch bei Legierungen für Tragwerke auf.
Verfärbung	kann bei niedrigen Legierungen in einer Vielzahl von Umgebungen auftreten; unansehnlich, allerdings rein optisch und ohne Auswirkungen auf die Tragfähigkeit einer Struktur.
Lochfraß-korrosion	Risiko steigt mit der Chloridbelastung; Risiko steigt mit abnehmendem Legierungsgehalt; unansehnlich, allerdings rein optisch und i.d.R. ohne Auswirkungen auf die Tragfähigkeit einer Struktur.
Spaltkorrosion	Risiko steigt mit der Chloridbelastung; Risiko steigt mit abnehmendem Legierungsgehalt; erfordert sehr schmale Spalte (< 0,25mm) und lange Nässeperioden; potentiell bedenklich.
Spannungsriss-korrosion	kombinierte Beanspruchung aus Zugspannung, Chloriden und Korrosion; Risiko hängt auch von der Temperatur ab; übliche geringer legierte Austenite weisen die größte Anfälligkeit auf; potentiell bedenklich bis hin zur Versagensgefahr.

PUREST: Promotion of new Eurocode rules for structural stainless steels
RFCS Dissemination Project 709600
39

Lochfraßkorrosion ist eine lokale Form der Korrosion, welche üblicherweise in chloridhaltigen Umgebungen auftritt. Bei den meisten Anwendungen im Bauwesen ist das Ausmaß der Lochfraßkorrosion wahrscheinlich nur oberflächlich und der Querschnittsverlust des Bauteils daher vernachlässigbar.

Spaltkorrosion entsteht durch eine extrem verminderte Sauerstoffzufuhr an einem Spalt. Es wird wahrscheinlich nur bei angestauten flüssigen Lösungen zu einem Problem, wo sich Chloride ansammeln können. Je schmaler und tiefer der Spalt ist, desto leichter entsteht Spaltkorrosion.

Spannungsrisskorrosion (engl.: stress corrosion cracking (SCC)) wird bedingt durch das gleichzeitige Vorhandensein von Zugspannungen und speziellen Umwelteinflüssen, welche jedoch bei den üblichen Umweltbedingungen im Bauwesen nicht auftreten. Die Spannungen müssen dabei im Vergleich zur 0,2 %-Dehngrenze des Materials nicht sehr groß sein und können durch äußere Belastungen oder Eigenspannungen infolge des Fertigungsprozesses, wie z. B. beim Schweißen oder durch Umformen, entstehen. Besondere Vorsicht sollte beim Einsatz von Bauteilen aus nichtrostendem Stahl mit hohen Eigenspannungen (z. B. bedingt durch Kaltverfestigung) in chloridhaltigen Umgebungen (z. B. die Atmosphären in Hallenbädern, auf See oder an Küstengebieten) gelten. Zur Vermeidung von Spannungsrisskorrosion werden Hilfestellungen zur Stahlsortenauswahl in Schwimmhallenatmosphäre angegeben.



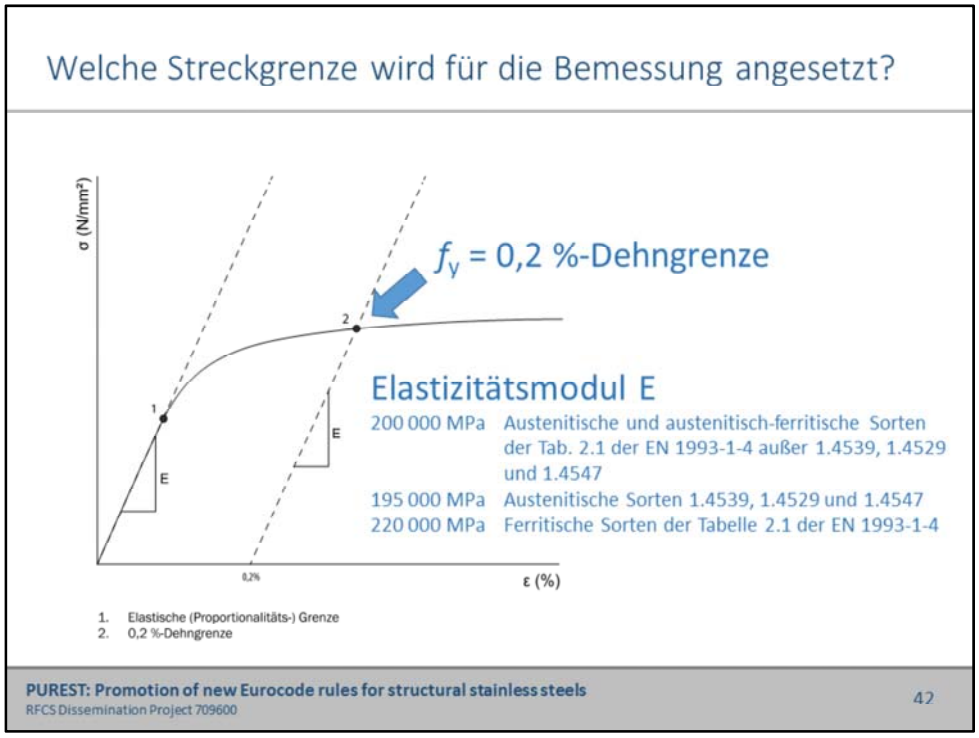
Bimetallkorrosion kann auftreten, wenn unterschiedliche Metalle in einem typischen Elektrolyten, wie z. B. Regen, in Kontakt kommen. Dadurch entsteht ein Bereich der galvanischen Korrosion. Das Ausmaß der Korrosion hängt vom Verhältnis der Flächen der beiden in Kontakt stehenden Metalle zueinander und zusätzlich von der Temperatur und der Zusammensetzung des Elektrolyten ab.

Das Risiko eines großen Korrosionsschadens ist am höchsten, wenn die Oberfläche des edleren Metalls (z. B. nichtrostender Stahl) im Verhältnis zur Oberfläche des weniger edlen Metalls (z. B. Baustahl) groß ist. Aus diesem Grunde sollten Baustahlschrauben nicht für Anschlüsse mit Bauteilen aus nichtrostendem Stahl verwendet werden, jedoch können nichtrostende Schrauben für Anschlüsse aus Bauteilen aus Baustahl problemlos verwendet werden.

Bimetallkorrosion kann verhindert werden, indem der direkte Kontakt der Metalle vermieden wird oder indem die unterschiedlichen Metalle durch isolierende Scheiben, Anstriche oder andere nicht leitende Abschirmungen isoliert werden.

Übersicht

- Einführung und typische Anwendungsgebiete
- Materialeigenschaften
- Werkstoffauswahl
- **Bemessung von Bauteilen und Anschlüssen**
- Bemessung im Brandfall
- Unterlagen und Hilfen zur Bemessung für Ingenieure und Ingenieurinnen



Bei Baustahl wird einfach die Streckgrenze für die Bemessung angesetzt. Die Schwierigkeit bei der Bemessung von Materialien, die einen nichtlinearen Verlauf ihrer Spannung-Dehnung-Kurve aufweisen, liegt in der Auswahl des Festigkeitswertes.

Der übliche Weg diesen Festigkeitswert zu bestimmen, ist bei Metallen wie nichtrostendem Stahl, Aluminiumlegierungen und hochfesten Stählen, die allesamt keine eindeutige Fließgrenze aufweisen, die 0,2 %-Dehngrenze zu verwenden.

Diese Kurve zeigt die Definition der 0,2 % Dehngrenze.

Spannung-Dehnung-Verhalten

Nichtlinearität.....führt zu

- anderen Breite zu Dicke-Grenzwerten bei lokalem Beulen
- anderem Knick- bzw. Beulverhalten von Bauteilen unter Druck- und Biegebeanspruchung
- größeren Verformungen.

Einfluss auf das Knick- bzw. Beulverhalten

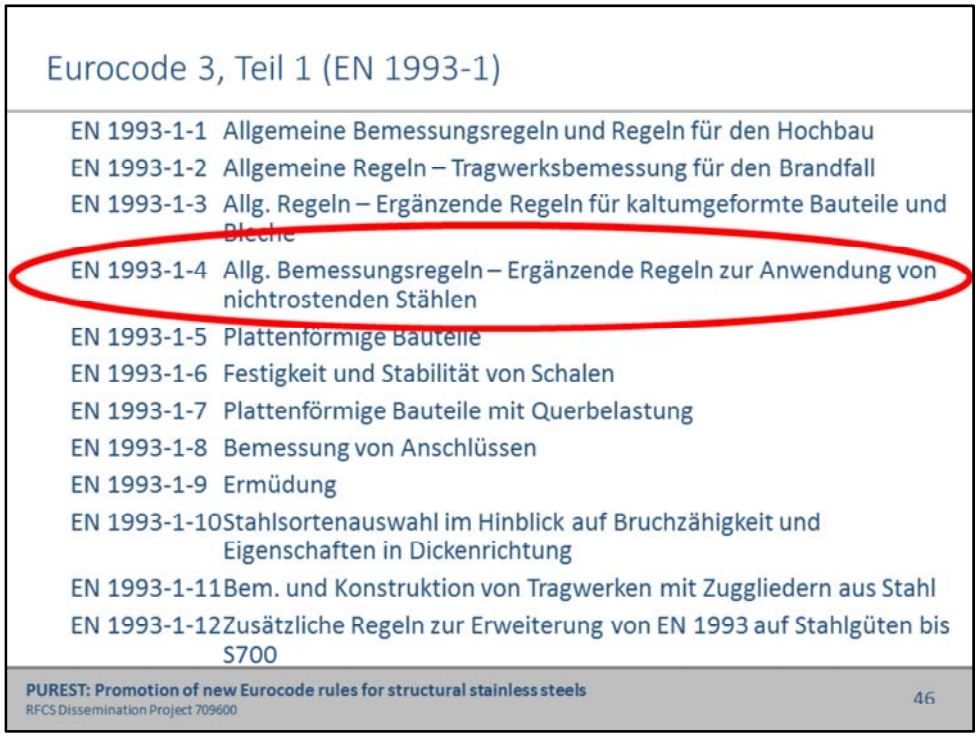
- **Hohe Schlankheiten**
  Festigkeit in Axialrichtung gering, Spannungen gering und in einem linearen Bereich.
  nichtrostende Stähle verhalten sich ähnlich wie Baustähle, ähnliche Eigen- und geometrische Spannungen.
- **Mittlere Schlankheiten**
  Mittlere Spannungen in Stützen liegen zwischen der Proportionalitätsgrenze und der 0,2 %-Dehngrenze.
  Stützen aus nichtrostenden Stählen weisen geringere Tragfähigkeiten auf als Stützen aus Baustahl.
- **Geringe Schlankheiten**
  Stützen erreichen/überschreiten die plastische Grenzlast, Vorteile der Verfestigung sind ersichtlich.
  Stützen aus nichtrostendem Stahl verhalten sich mindestens so gut wie eine Stütze aus Baustahl.

Verfestigung

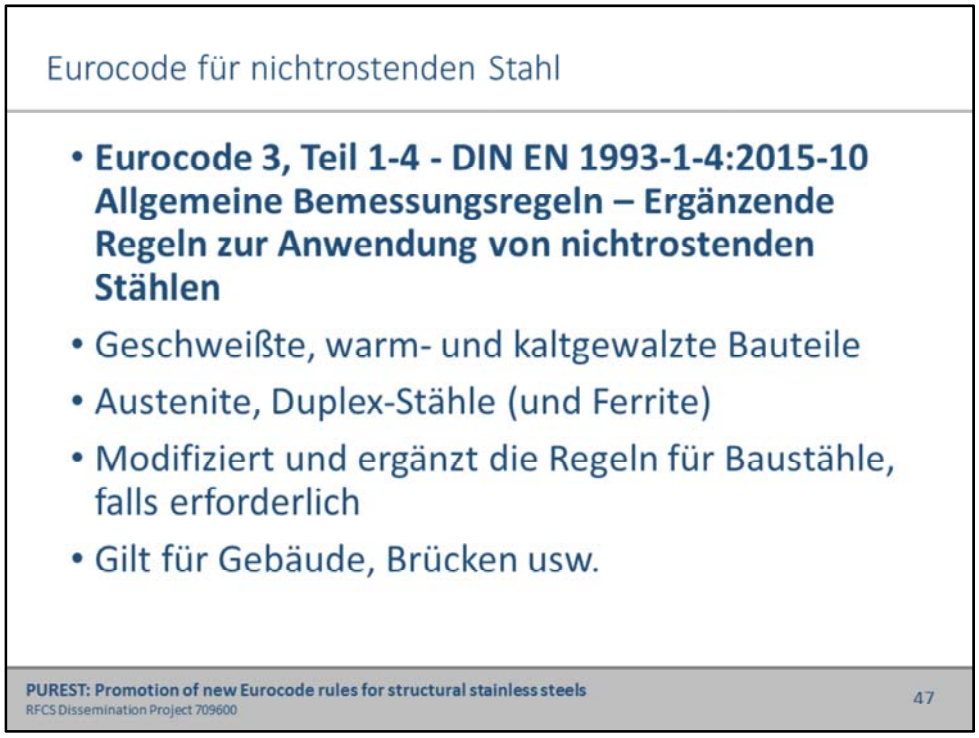
- Auch bekannt als Kaltverfestigung
- Erhöhte Festigkeit durch plastische Verformungen: 0,2 %-Dehngrenze in den kaltverformten Kantenbereichen von rechteckigen Hohlprofilen um ca. 50 % gesteigert
- Hervorgerufen durch Kaltumformverfahren wie z. B. dem Richten und/oder Nachwalzen sowie bei der Fertigung

Verfestigung ist jedoch nicht immer nützlich…

- Stärkere und leistungsfähigere Maschinen sowie festere Werkzeuge werden benötigt.
- Größere Kräfte sind erforderlich.
- Duktilität wird vermindert (allerdings ist die anfängliche Duktilität hoch, besonders bei Austeniten).
- Unerwünschte Eigenspannungen können auftreten.



Der Eurocode 3 ist in viele Teile aufgeteilt. Er behandelt die Bemessung von verschiedenen Typen von Bauwerken aus Stahl, wie z. B. Gebäude, Brücken, Tanks oder Pfählen. Teil 1-4 enthält allgemeine Bemessungsregeln zur Anwendung von nichtrostenden Stählen.



Der Eurocode 3, Teil 1-4 ist weltweit die einzige Bemessungsnorm für nichtrostenden Stahl, die eine so umfangreiche Auswahl an Produktformen und Themen beinhaltet.

Einführung in die Bemessung mit nichtrostenden Stählen

- Vorgehensweise bei der Bemessung ist grundsätzlich die gleiche wie für Baustahl
- Teilsicherheitsbeiwerte:

$$\gamma_{M0} = 1{,}1$$
$$\gamma_{M1} = 1{,}1$$
$$\gamma_{M2} = 1{,}25$$

- Gleiche Bemessungsregeln für zugbeanspruchte Bauteile und gehaltene Träger wie bei Baustählen
- Einige Unterschiede bei den Grenzen der Querschnittsklassifizierung, beim Beulen und beim Biegeknicken aufgrund:
  - des nichtlinearen Spannung-Dehnung-Verhaltens
  - der Kaltverfestigungseigenschaften
  - der unterschiedlichen Niveaus der Eigenspannungen

Diese Folie fasst die Unterschiede bei der Bemessung von nichtrostenden und Baustählen zusammen.

Querschnittsklassifizierung

Gleiche Vorgehensweise und gleiche maximale Breite zu Dicke-Grenzwerte wie bei Baustahl, außer für beidseitig gestützte Querschnittsteile der Klasse 2 bzw. 3

Klasse	auf Biegung beanspruchte Querschnittsteile		auf Druck beanspruchte Querschnittsteile	
2	$\frac{c}{t} \leq 76\varepsilon$ $\frac{c}{t} \leq 83\varepsilon$	Nichtrostender Stahl Baustahl	$\frac{c}{t} \leq 35\varepsilon$ $\frac{c}{t} \leq 38\varepsilon$	Nichtrostender Stahl Baustahl
3	$\frac{c}{t} \leq 90\varepsilon$ $\frac{c}{t} \leq 124\varepsilon$	Nichtrostender Stahl Baustahl	$\frac{c}{t} \leq 37\varepsilon$ $\frac{c}{t} \leq 42\varepsilon$	Nichtrostender Stahl Baustahl

$\varepsilon = \left[\frac{235}{f_y}\frac{E}{210\,000}\right]^{0,5}$ Nichtrostender Stahl $\varepsilon = \left[\frac{235}{f_y}\right]^{0,5}$ Baustahl

Querschnitte der Klasse 4 – Wirksame Breite

Gleiche Vorgehensweise wie bei Baustahl

$$\rho = \frac{0{,}772}{\bar{\lambda}_p} - \frac{0{,}079}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1{,}0$$

Beidseitig gestützte, druckbeanspruchte Querschnittsteile (kaltgeformt oder geschweißt)
(diese Formel unterscheidet sich von der für Baustahl)

$$\rho = \frac{1}{\bar{\lambda}_p} - \frac{0{,}188}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1{,}0$$

Einseitig gestützte, druckbeanspruchte Querschnittsteile (kaltgeformt oder geschweißt)

bezogene Schlankheit $\bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}/t}{28{,}4\varepsilon\sqrt{k_\sigma}}$

Bauteile unter Druckbeanspruchung

Bemessungswert der Biegeknickbeanspruchbarkeit $N_{b,Rd}$:

$$N_{b,Rd} = \chi A f_y / \gamma_{M1}$$ bei Querschnitten der Klasse 1, 2 oder 3

Abminderungsfaktor

$$N_{b,Rd} = \chi A_{eff} f_y / \gamma_{M1}$$ bei Querschnitten der Klasse 4

Bauteile unter Druckbeanspruchung

Abminderungsfaktor für Knicken χ

$$\chi = \frac{1}{\phi + \left[\phi^2 - \bar{\lambda}^2\right]^{0,5}} \leq 1$$

$$\phi = 0{,}5(1 + \alpha(\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}^2)$$

Imperfektionsbeiwert α

Grenzschlankheit

Der Imperfektionsbeiwert und die Grenzschlankheit sind abhängig vom Querschnittstyp, der Art des Knickens und dem Herstellungsprozess.

PUREST: Promotion of new Eurocode rules for structural stainless steels
RFCS Dissemination Project 709600

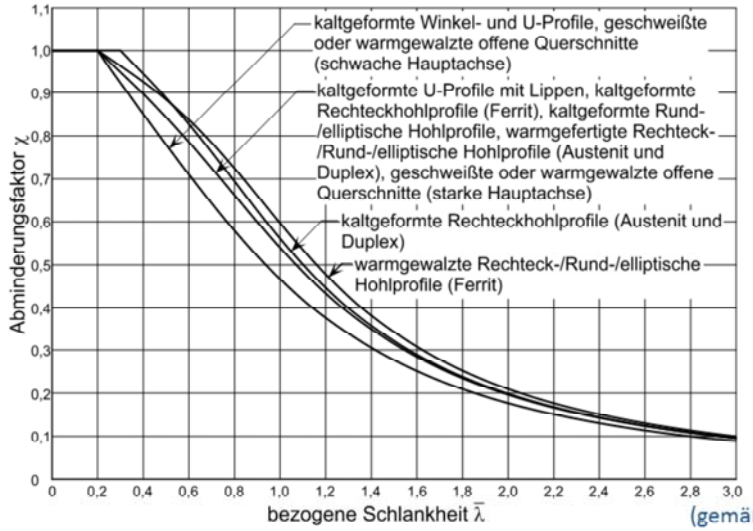
52

Die Knicklinien für Bauteile aus nichtrostendem Stahl basieren auf den gleichen mathematischen Gleichungen wie bei Bauteilen aus Baustahl, wobei sich jedoch der Imperfektionsbeiwert () und die Grenzschlankheit () unterscheiden.

Werte für α und $\bar{\lambda}_0$ beim Biegeknicken (gemäß DMSSS!)

Bauteiltyp	Ausweichen rechtwinklig zur Achse	Austenit und Duplex		Ferrit	
		α	$\bar{\lambda}_0$	α	$\bar{\lambda}_0$
Kaltgeformte Winkel- und U-Profile	jede	0,76	0,2	0,76	0,2
Kaltgeformte U-Profile mit Lippen	jede	0,49	0,2	0,49	0,2
Kaltgeformte Rechteckhohlprofile	jede	0,49	0,3	0,49	0,2
Kaltgeformte Rund-/elliptische Hohlprofile	jede	0,49	0,2	0,49	0,2
Warmgefertigte Rechteckhohlprofile	jede	0,49	0,2	0,34	0,2
Warmgefertigte Rund-/elliptische Hohlprofile	jede	0,49	0,2	0,34	0,2
Geschweißte oder warmgewalzte offene Querschnitte	starke Hauptachse	0,49	0,2	0,49	0,2
	schwache Hauptachse	0,76	0,2	0,76	0,2

Knicklinien für Biegeknicken bei nichtrostenden Stählen



(gemäß DMSSS!)

Biegedrillknicken bei Bauteilen unter Biegebeanspruchung

Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit unter Biegebeanspruchung für Biegedillknicken $M_{b,Rd}$ eines seitlich nicht gehaltenen Trägers (oder Trägerabschnitt) sollte wie folgt ermittelt werden:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y f_y / \gamma_{M1}$$

Abminderungsfaktor für Biegedrillknicken

$W_y = W_{pl,y}$ bei Querschnitten der Klasse 1 oder 2

$W_y = W_{el,y}$ bei Querschnitten der Klasse 3

$W_y = W_{eff,y}$ bei Querschnitten der Klasse 4

Biegedrillknicken bei Bauteilen unter Biegebeanspruchung

Abminderungsfaktor für Biegedrillknicken χ

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \left[\phi_{LT}^{2} - \bar{\lambda}_{LT}^{2}\right]^{0,5}} \leq 1$$

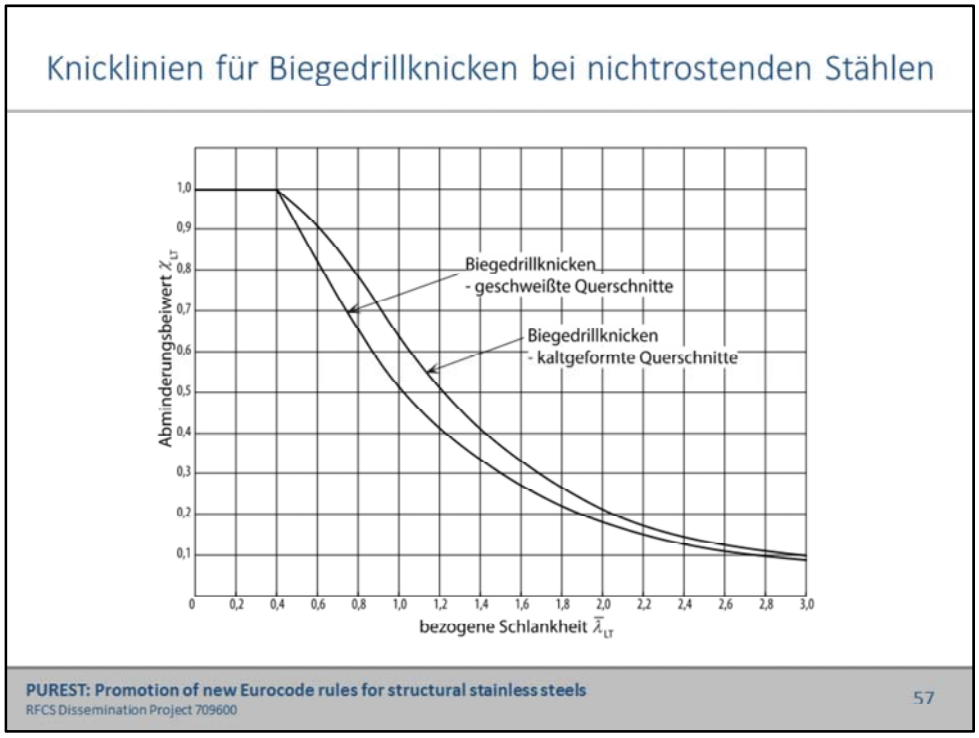
$$\phi_{LT} = 0,5(1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - 0,4) + \bar{\lambda}_{LT}^{2})$$

Imperfektionsbeiwert α_{LT}

Grenzschlankheit

α_{LT} = 0,34 bei kaltgeformten Querschnitten und Hohlprofilen

α_{LT} = 0,76 bei geschweißten offenen Querschnitten und anderen Querschnitten, für die keine Versuchsdaten verfügbar sind.



Dieses Diagramm zeigt die Knicklinien für Biegedrillknicken bei nichtrostendem Stahl (geschweißte I-Profile und kaltgeformte U-Profile).

Verformungen

- Ein nichtlineares Spannung-Dehnung-Verhalten bedeutet, dass die Steifigkeit von nichtrostendem Stahl bei zunehmender Spannung abnimmt und somit Verformungen etwas größer sind als bei Baustahl.
- Anstelle eines elastisch, perfekt-plastischen Materialmodells wird das **Ramberg-Osgood**-Materialmodell verwendet.
- In diesem Materialmodell ist der **Exponent** n, welcher den **Grad der Nichtlinearität** der Spannung-Dehnung-Kurve bei geringen Dehnungen definiert, der wichtigste Parameter.
- Verformungen werden anhand des **Sekantenmoduls** bei Bauteilspannungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit berechnet.

PUREST: Promotion of new Eurocode rules for structural stainless steels
RFCS Dissemination Project 709600
58

Die Nichtlinearität der Spannungs-Dehnungs-Kurve sorgt dafür, dass sich die Steifigkeit eines Bauteils aus nichtrostendem Stahl in Abhängigkeit der Spannung verändert, die Steifigkeit nimmt bei zunehmender Spannung ab. Demzufolge sind Verformungen größer als bei Bauteilen aus Baustahl.

Ein konservativer Ansatz zur Ermittlung von Verformungen ist der Einsatz von üblichen Berechnungsmethoden, sofern der Sekantenmodul zugehörig zu den höchsten Spannungen im Bauteil anstelle des Elastizitätsmoduls verwendet wird.

Verformungen

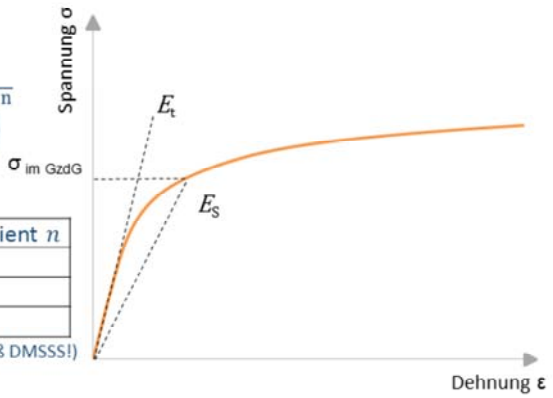
Verformungen werden mit dem Sekantenmodul E_S berechnet, der sich unter Berücksichtigung der Bauteilspannung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit wie folgt ergibt:

(ermittelt anhand des Ramberg-Osgood-Materialmodells):

$$E_{S,i} = \frac{E}{1 + 0{,}002 \frac{E}{\sigma_{i,Ed,ser}} \left(\frac{\sigma_{i,Ed,ser}}{f_y} \right)^n}$$

Stahlsorte	Ramberg-Osgood-Koeffizient n
Ferrit	14
Austenit	7
Duplex	8

(gemäß DMSSS!)



Diese Folie zeigt den Unterschied zwischen dem Sekantenmodul und dem Tangentenmodul. Am Beginn der Spannungs-Dehnungs-Kurve ist der Tangentenmodul identisch mit dem Elastizitätsmodul.

Verformungen

- Mittelwert des Sekantenmoduls E_S entsprechend der Spannung im Zugflansch σ_1 bzw. im Druckflansch σ_2:

$$E_S = \frac{(E_{S1} + E_{S2})}{2}$$

- Vereinfachend kann die Abweichung des Elastizitätsmoduls E_S entlang der Bauteillänge vernachlässigt und der kleinste Wert von E_S im Bauteil (d. h. entsprechend der maximalen Spannungswerte σ_1 und σ_2 für das Bauteil) für die gesamte Länge angesetzt werden.

PUREST: Promotion of new Eurocode rules for structural stainless steels
RFCS Dissemination Project 709600
60

Die Auswirkungen der Nichtlinearität der Spannungs-Dehnungs-Kurve von nichtrostenden Stählen sollte bei der Berechnung von Verformungen berücksichtigt werden.

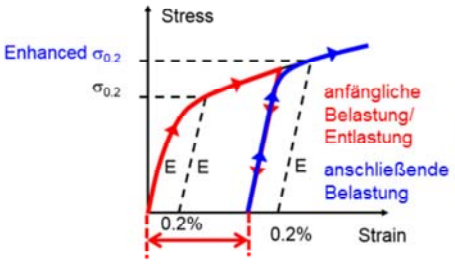
Der Sekantenmodul kann anhand des Ramberg-Osgood-Materialmodells bestimmt werden. Dieses Materialmodell wird üblicherweise verwendet, um die nichtlineare Beziehung zwischen Spannungen und Dehnungen von Materialien in der Nähe ihrer Fließgrenze zu beschreiben.

Der Koeffizient n beschreibt dabei den Grad der Nichtlinearität des Materials. Je kleiner der Wert von n, desto größer ist die Nichtlinearität der Spannungs-Dehnungs-Kurve. Nichtrostende austenitische Stähle weisen üblicherweise Werte von n = 5,6 und nichtrostende Duplex-Stähle Werte von n = 7,2 auf. (Eine Spannungs-Dehnungs-Kurve eines bilinearen, „elastisch-perfekt plastischen“ Baustahls würde einen Wert von n = unendlich aufweisen.)

Neue Bemessungsregeln, die die Vorteile der Kaltverfestigung ausnutzen

Die „Bemessungshilfen zu nichtrostenden Stählen im Bauwesen“ (DMSSS) enthalten Hilfestellungen zur Berücksichtigung der Vorteile der erhöhten Festigkeit durch die Kaltverfestigung:

- Anhang B enthält Hilfestellungen für die Berücksichtigung während der Fertigung (d. h. Kaltumformen von Bauteilen in der Werkstatt)
- Anhang D enthält Hilfestellungen für die Berücksichtigung während der Belastung (im Betrieb)



Bei Kastenquerschnitten können i. d. R. Festigkeitssteigerungen von 30 % in den ebenen Abschnitten und 50 % in den Kantenbereichen ausgenutzt werden.

PUREST: Promotion of new Eurocode rules for structural stainless steels
RFCS Dissemination Project 709600
61

- Produkte aus nichtrostendem Stahl sind i.d.R. in zwei unterschiedlichen Zuständen verfügbar: geglüht und kaltverfestigt
- Betrachtet man die kaltverformten Produkte, entsteht die Kaltverfestigung durch drei Ursachen:
    - Umformen von Blechen – beim Stahlhersteller
    - Formen von Querschnitten, indem Bleche bei Raumtemperatur zu Profilen geformt werden
    - und schließlich im Betrieb, wenn Bauteile ständigen und veränderlichen Lasten ausgesetzt sind
- Die Kaltverfestigung erhöht die Festigkeit des Materials
- Anhang B der „Bemessungshilfen zu nichtrostenden Stählen im Bauwesen“ enthält detaillierte Hilfestellungen, wie die erhöhte Festigkeit, die durch die Herstellungsprozesse entsteht ermittelt und ausgenutzt werden kann

Geschraubte Verbindungen – Allgemeine Hinweise

- Die Korrosionsbeständigkeit einer Schraube aus nichtrostendem Stahl sollte mindestens der des Materials der zu verbindenden Bauteile entsprechen, d. h. eine Schraube der Sorte A4 oder besser sollte verwendet werden, um Bauteile der Sorte 1.4401 zu verbinden.
- Grundsätzlich können die Bemessungsregeln für Baustahl übernommen werden, allerdings mit einigen Änderungen bei der Beanspruchbarkeit auf Lochleibung.

Wenn Oberflächen unter Belastung aufeinander bewegt werden, kann es bei Verbindungsmitteln aufgrund lokaler Haftreibung und Brüchen an den Kontaktflächen zum Fressen/Kaltverschweißen in den gepaarten Gewinden kommen.

Empfehlungen um Fressen/Kaltverschweißen zu verhindern:

- Niedrige Drehzahlen während der Montage verwenden.
- Darauf achten, dass Gewinde möglichst leichtgängig sind.
- Innere und äußere Gewinde mit Schmiermitteln bearbeiten.

PUREST: Promotion of new Eurocode rules for structural stainless steels
RFCS Dissemination Project 709600 62

Geschraubte Verbindungen aus Baustahl oder aus nichtrostendem Stahl werden i.d.R. auf die gleiche Weise bemessen. Allerdings sind spezielle Regeln für die Lochleibung erforderlich, aufgrund der hohen Duktilität von nichtrostenden austenitischen Stählen.

Bei der Definition der Beanspruchbarkeit auf Lochleibung bei nichtrostenden Stählen bedarf es größerer Genauigkeit: Während die Last-Verformungs-Kurve bei Verbindungen aus Baustahl nach dem Beginn und während des Fließens abflacht, steigt diese bei Verbindungen aus nichtrostendem Stahl aufgrund der Kaltverfestigung weiterhin deutlich an.

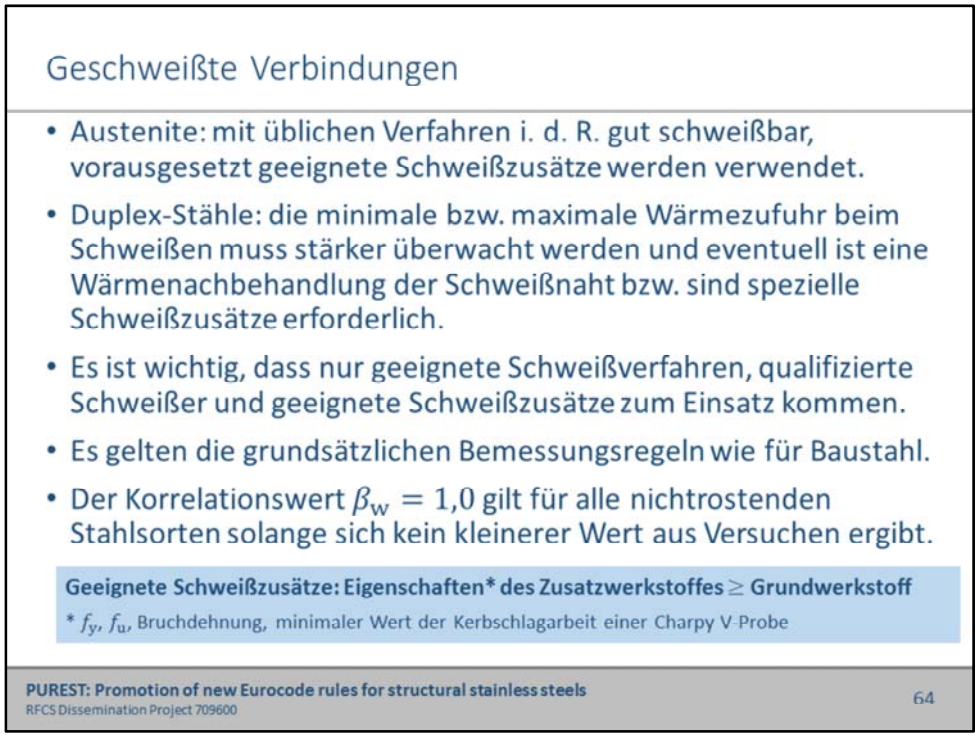
Der Eurocode definiert die Beanspruchbarkeit auf Lochleibung bei nichtrostendem Stahl zur Zeit noch mit einem reduzierten Wert der Zugfestigkeit $f_{u,red}$ im Gegensatz zum nicht reduzierten Wert der Zugfestigkeit bei Baustahl.

Vorgespannte Schrauben

Zurzeit gibt es keine Bemessungsregeln für vorgespannte Schrauben aus nichtrostenden Stählen, allerdings zeigen aktuelle Forschungen im Rahmen des europäischen Forschungsvorhabens SIROCO folgendes:

- Schrauben aus nichtrostenden austenitischen and Duplex-Stählen können ausreichend vorgespannt werden, vorausgesetzt Schraubenfestigkeitsklasse, Anziehverfahren und Schmiermittel werden entsprechend definiert.
- Der Verlust der Vorspannkraft in geschraubten Verbindungen aus nichtrostendem Stahl ist mit dem in geschraubten Verbindungen aus Baustahl vergleichbar.
- Gemessene Haftreibungszahlen an gestrahlten Oberflächen von nichtrostenden Stählen sind durchgängig mindestens so groß wie die Werte für Klasse B (0,4).

Die abschließenden Empfehlungen aus dem europäischen Forschungsvorhaben SIROCO werden gegen Ende des Jahres 2018 verfügbar sein. Es wird erwartet, dass die Ergebnisse in die nächsten Überarbeitungen der EN 1993-1-4 sowie EN 1090-2 einfließen werden. Bis dahin sollten weiterhin Versuche/Verfahrensprüfungen durchgeführt werden, um die Verwendbarkeit von vorgespannten geschraubten Verbindungen aus nichtrostendem Stahl zu bestätigen.



Nichtrostender Stahl kann grundsätzlich auf die gleiche Art und Weise geschweißt werden wie Baustahl.

Es ist wichtig, beim Schweißen geeignete Schweißverfahren sowie passende Schweißzusätze zu verwenden und qualifizierte Schweißer einzusetzen. Diese Aspekte sind nicht nur wichtig, um die Beanspruchbarkeit der Schweißnaht sicherzustellen und ein definiertes Schweißprofil zu erreichen, sondern auch um die Korrosionsbeständigkeit der Schweißnaht und des umgebenden Materials zu gewährleisten. Es sollte beachtet werden, dass bei der Verwendung von austenitischem nichtrostendem Stahl größere Verformungen beim Schweißen auftreten als bei Baustählen.

Eine häufig gestellte Frage lautet, ob nichtrostender Stahl mit Baustahl verschweißt werden kann. Es ist möglich, vorausgesetzt geeignete Schweißzusätze werden verwendet.

Baustahl und nichtrostenden Stahl miteinander verschweißen

- Nichtrostender Stahl wird häufig mit Baustahl verschweißt.
- Der Schweißzusatzwerkstoff muss „überlegiert“ sein, damit ausreichende mechanische Eigenschaften und die Korrosionsbeständigkeit der Verbindung gewährleistet werden können.
- Um Bimetallkorrosion zu vermeiden, sollte sowohl auf den Baustahl als auch auf den nichtrostenden Stahl eine Beschichtung aufgebracht werden, bei letzterem bis zu einem Abstand von mindestens 75 mm von der Verbindungsstelle entfernt.

Übersicht

- Einführung und typische Anwendungsgebiete
- Materialeigenschaften
- Werkstoffauswahl
- Bemessung von Bauteilen und Anschlüssen
- **Bemessung im Brandfall**
- Unterlagen und Hilfen zur Bemessung für Ingenieure

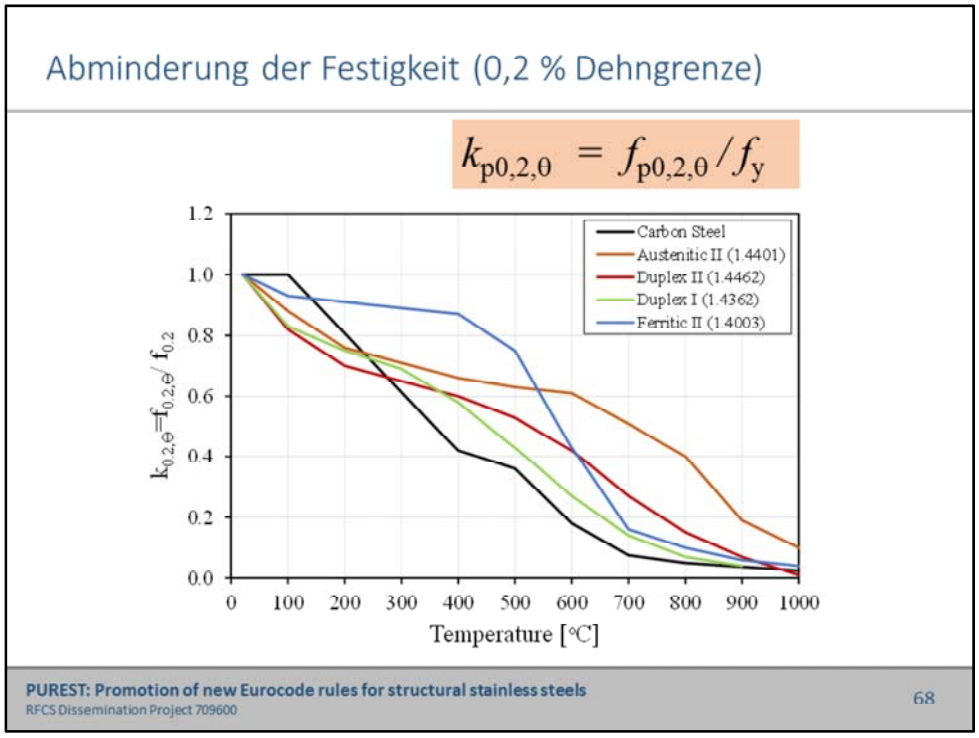
Mechanische Eigenschaften in Brandfall

Aufgrund seiner chemischen Zusammensetzung zeigt nichtrostender Stahl im Vergleich zu Baustahl ein anderes Festigkeits- bzw. Steifigkeitsverhalten im Brandfall.

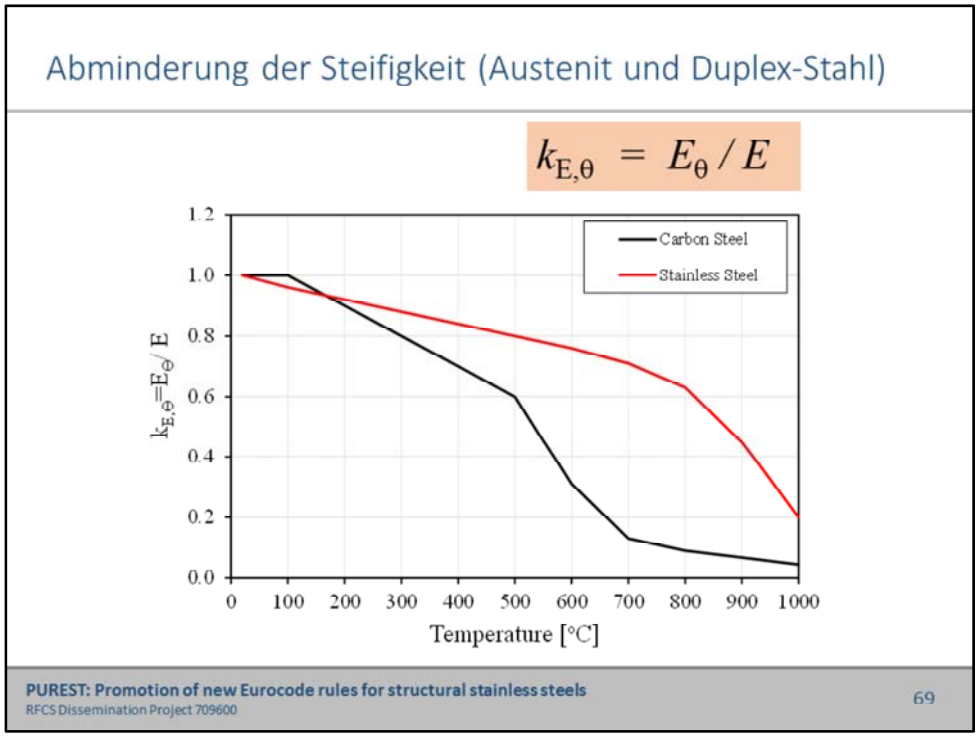
Gruppenspezifische Abminderungskurven für die Festigkeit und die Steifigkeit:

- **Austenit I:** 1.4301, 1.4307, 1.4318
- **Austenit II:** 1.4401, 1.4404, 1.4541
- **Austenit III:** 1.4571
- **Duplex I:** 1.4362, 1.4062, 1.4482
- **Duplex II:** 1.4462, 1.4162, 1.4662
- **Ferrit I:** 1.4509, 1.4521, 1.4621
- **Ferrit II:** 1.4003, 1.4016

- Die „Bemessungshilfen zu nichtrostenden Stählen im Bauwesen“ definieren sieben Gruppen von Abminderungsfaktoren für u. a. die Festigkeit
- d. h. sie geben das Verhältnis der Festigkeit oder Steifigkeit bei erhöhten Temperaturen im Vergleich zu Raumtemperatur an
- Die Abminderungsfaktoren sind gruppenspezifisch für Stahlsorten mit ähnlichem Verhalten
- Der Eurocode enthält aktuell stahlsortenspezifische Abminderungsfaktoren und deckt insgesamt weniger Stahlsorten ab



- Auf dieser Folie ist die Abminderung der 0,2 % Dehngrenze über einen Temperaturbereich für nichtrostenden austenitischen, ferritischen und Duplex-Stahl sowie für Baustahl dargestellt.
- Für die Austenite und Duplex-Stähle, bei denen bei Temperaturen unter 300°C die Festigkeit stärker abnimmt, zeigt sich ein höherer verbleibender Anteil der Festigkeit bei höheren damit entscheidenderen Temperaturen.
- Die ferritische Sorte 1.4003 verhält sich bei höheren Temperaturen, aufgrund der ähnlichen Mikrostruktur, ähnlich wie Baustahl.

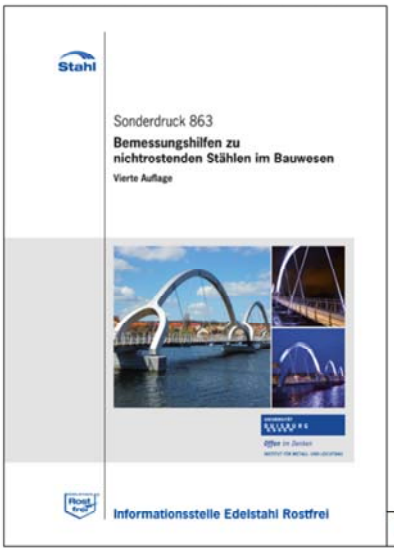


- Auf dieser Folie ist die Abminderung der Steifigkeit über eine Temperaturbereich für nichtrostenden und für Baustahl dargestellt.
- Es gibt einen Satz an Abminderungsfaktoren für alle Sorten.
- Wie zu erkennen ist, behält nichtrostender Stahl über fast den gesamten Temperaturbereich mehr Steifigkeit bei als Baustahl, was unter dem Aspekt der Stabilitätsbemessung positiv zu betrachten ist.

Übersicht

- Einführung und typische Anwendungsgebiete
- Materialeigenschaften
- Werkstoffauswahl
- Bemessung von Bauteilen und Anschlüssen
- Bemessung im Brandfall
- Unterlagen und Hilfen zur Bemessung für Ingenieure und Ingenieurinnen

„Bemessungshilfen zu nichtrostenden Stählen im Bauwesen“



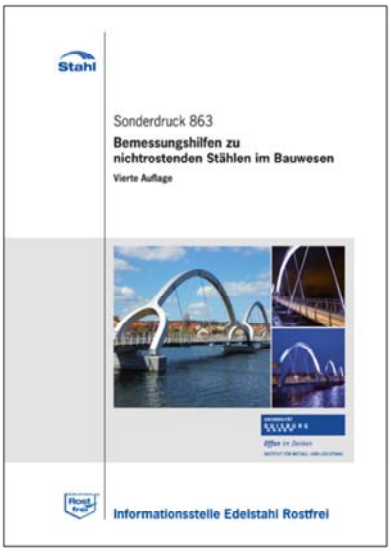
- Erläuterungen
- Bemessungsbeispiele
- Kommentar
- Software und
- Apps

www.steel-stainless.org/designmanual

1. Auflage: 1993
2. Auflage: 2002
3. Auflage: 2006
4. Auflage: 2017

ISBN 978-1-85942-228-1

„Bemessungshilfen zu nichtrostenden Stählen im Bauwesen“



Kostenloser Download

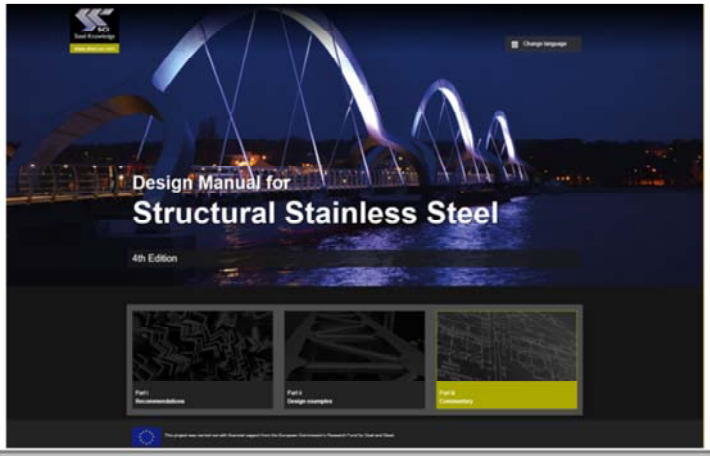
Informationsstelle Edelstahl Rostfrei
Düsseldorf
http://www.edelstahl-rostfrei.de/

UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN
Offen im Denken

Universität Duisburg-Essen
Institut für Metall- und Leichtbau
https://www.uni-due.de/iml/

Alle PUREST-Ergebnisse (Dokumente/Software/Apps) stehen in allen Sprachen zum kostenlosen Download zur Verfügung:

www.steel-stainless.org/designmanual



Zusammenfassung

- Nichtrostender Stahl ist eine korrosionsbeständige Stahllegierung, die im Bauwesen zum Einsatz kommt:
  - in aggressiven Umgebungen,
  - wenn die Wartung kompliziert ist,
  - aus architektonischen Aspekten.
- Verschiedene Stahlsorten sind für unterschiedliche Umgebungen geeignet.
- Bemessung: ähnlich wie bei Baustahl, allerdings sind einige Anpassungen nötig aufgrund des nichtlinearen Spannung-Dehnung-Verhaltens.
- Nichtrostender Stahl zeigt im Vergleich zu Baustahl ein anderes Festigkeits- bzw. Steifigkeitsverhalten bei hohen Temperaturen.
- Es gibt Hilfsmittel für den Umgang mit nichtrostenden Stählen.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

© Bumax

Prof. Dr.-Ing. habil. Natalie Stranghöner
Sebastian Stehr M.Sc.
Universität Duisburg-Essen
Fakultät Ingenieurwissenschaften
Abteilung Bauwissenschaften
Institut für Metall- und Leichtbau

Universitätsstr. 15
45141 Essen

Fon: 0201 183-2757
Fax: 0201 183-2710
E-Mail: iml@uni-due.de
Internet: www.uni-due.de/iml