

Verarbeitung und Schäden **an Nichtrostenden Stählen**

Hallen, Treppen, Geländer, Vordächer, Fassaden

Dr.-Ing. Peter Knödel, SFI/IWE

Beratender Ingenieur

ö.b.u.v. Sachverständiger für „Schweißtechnik – Sonderbauten in Metall“

Professor für Stahlbau an der FH Augsburg

www.peterknoedel.de

Seminar am 16. September 2010

Regus Business Center Laim

Landsberger Str. 302, D-80687München

Haus der Technik GmbH, Essen

www.hdt-essen.de

0. Inhalt

<u>0.</u>	<u>Inhalt</u>	<u>2</u>
<u>1.</u>	<u>Einleitung</u>	<u>4</u>
<u>2.</u>	<u>Begriffe / Abkürzungen</u>	<u>5</u>
<u>3.</u>	<u>Korrosion</u>	<u>10</u>
3.1	Elektrochemische Korrosion am Lokalelement (electrochemical corrosion)	10
3.2	Bimetallkorrosion (galvanic corrosion)	11
3.3	Spaltkorrosion (crevice corrosion)	12
3.4	(Chlorinduzierte) Lochkorrosion / Lochfraß (pitting)	13
3.5	Spannungsrissskorrosion (stress corrosion cracking)	14
3.6	Interkristalline Korrosion (intergranular corrosion)	14
3.7	Zusammenfassung	17
<u>4.</u>	<u>Werkstoff</u>	<u>18</u>
4.1	Bezeichnung	18
4.2	Metallurgie und Gefüge	19
4.3	Mechanische Eigenschaften	23
4.3.1	Einmalig zügige Beanspruchung	23
4.3.2	Schlagartige Beanspruchung	29
4.3.3	Ermüdung	31
4.4	Passivierungsmechanismus	34
4.4.1	Allgemeines	34
4.4.2	Störungen	39
4.5	Sonstige Physikalische Eigenschaften	40
4.5.1	Ausdehnungskoeffizient	40
4.5.2	Wärmeleitfähigkeit	40
4.5.3	Magnetisierbarkeit	40
4.6	Kosten / Verfügbarkeit	40
<u>5.</u>	<u>Produkte, Bemessung und Ausführung</u>	<u>42</u>
<u>6.</u>	<u>Verarbeitungsregeln</u>	<u>44</u>
6.1	Allgemeines	44
6.2	Schneiden	44
6.3	Kanten	45
6.4	Walzen	45
6.5	Schweißen	45
6.5.1	Allgemeines	45
6.5.2	Verfahren	45
6.5.3	Zusatzwerkstoffe	47
6.5.4	Anlauffarben	47
6.5.5	Verzugsarm Schweißen	48
6.5.6	Schwarz-Weiß-Verbindungen	49
6.5.7	Flammrichten	50
6.6	Beizen und Passivieren	51
6.7	Polieren	52
<u>7.</u>	<u>Fallbeispiele</u>	<u>53</u>

7.1	Gewerbebau: Halfenschienen für Porenbeton	53
7.2	Auflagerdolle an einem Fassadenelement	53
7.3	Nichtrostende Geländer an verzinkten Stahltreppen	54
7.4	Metalldübel im Freien	55
7.5	Anker für eine Natursteinfassade	55
7.6	Lochfraß in einem Schornsteinboden 1.4571	56
7.7	Biegeversuch an einer Längsnaht	58
7.8	Korrosion durch Schiffstransport	60
7.9	Korrosion in einem Milchtank	61
7.10	Korrosion an einem Tränenblech 1.4571	62
7.11	Schweißnähte verschleifen?	63
7.12	Spaltkorrosion an einem Wärmetauscher	65
7.13	Warmfester Stahl 1.4828 nach 900°C	67
<u>8.</u>	<u>Literaturhinweise und Quellen</u>	<u>69</u>
8.1	Normen und Regelwerke	69
8.2	Fachliteratur	74
8.3	Sonstiges	75
8.4	Bildmaterial	76

1. Einleitung

Der Begriff „nichtrostende Stähle“ ist irreführend und führt immer wieder zu Schäden beim Einsatz und bei der Verarbeitung dieser empfindlichen Werkstoffe.

Der Teilnehmer kann die Schwächen der „nichtrostenden“ Stähle einschätzen. Er kennt die wichtigsten Verarbeitungsregeln im bauaufsichtlichen Umfeld. Er kennt typische Schäden und Anwendungsfehler und die daraus zu ziehenden Schlussfolgerungen.

Sofern nicht anders angegeben, liegen die Urheberrechte für Text, Skizzen, Fotos, usw. beim Verfasser.

Folgende Personen haben durch Bilder zur bunten Vielfalt der Fallbeispiele wesentlich beigetragen (die Kontaktdaten sind im Quellenverzeichnis angegeben):

Herr Hans Bär, Fa. RAUM INOX

Herr Dipl.-Ing. Ralf Steinmetz, Steinmetz und Steinmetz Ingenieure

Herr Valent Vlastic, Fa. Heuser & Vlastic

Dafür danke ich herzlich.

2. Begriffe / Abkürzungen

α, T Wärmeausdehnungskoeffizient

AISI American Iron and Steel Institute

AISI 304 entspr. 1.4301

AISI 316 entspr. 1.4401

AISI 316 Ti entspr. 1.4571

Anerkannte Stellen

Stellen, die vom DIBt dafür anerkannt sind, unter anderem Herstellerqualifikationen zu erteilen

Anode Elektronenempfangender Pol
(das Gegenteil ist die Kathode)

Austenit, austenitisch

Stahlwerkstoff, der bei Raumtemperatur eine kubisch-flächenzentrierte Gitterstruktur hat (das Gegenteil ist ferritisch)

CEN Comité Européen de Normalisation

Mitglieder laut DIN EN 1090-1 S. 1 :

Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich, Zypern. (insgesamt 30 Staaten)

CEV Kohlenstoffäquivalent nach DIN EN 10025-1 Abs. 7.2.3 (jeweils in %):

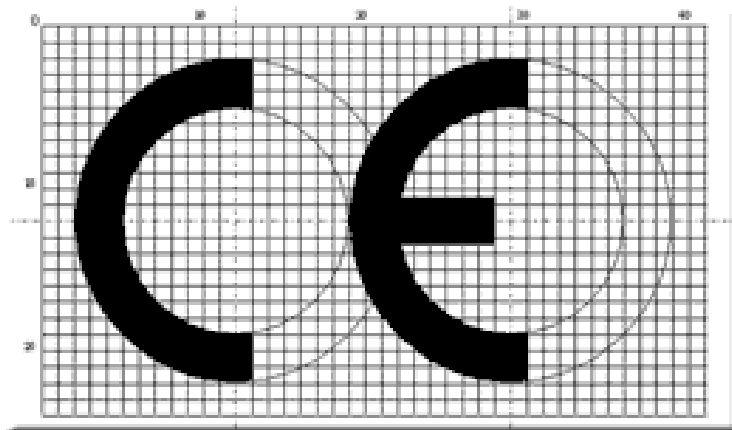
$$CEV = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$$

CE-Zeichen (CE Marking)

Das CE-Zeichen steht für Communauté Européenne. Es bestätigt, dass ein Produkt mit den Richtlinien der EG bezüglich dieses Produktes übereinstimmt. Wenn es sol-

che Richtlinien gibt, ist das Anbringen des CE-Zeichens verpflichtend.

Das CE-Zeichen muss mindestens eine Höhe von 5 mm haben, sofern nicht anders bestimmt.



Konstruktionsvorschrift für das CE-Zeichen
(Quelle: siehe Literaturverzeichnis – Sonstiges)

- DIBt** Deutsches Institut für Bautechnik in Berlin, www.dibt.de
Von den Bundesländern aufgrund der Länderhoheit im Bauwesen eingerichtetes gemeinsames Institut; erteilt z.B. allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen, benennt „Anerkannte Stellen“ zur Erteilung von Herstellerqualifikationen
- Elektrolyt** Leitfähige Flüssigkeit.
Destilliertes Wasser ist kein Elektrolyt. Damit Wasser leitet, muß es geringe „Verschmutzungen“ aufweisen, z.B. gelöste Mineralien.
- Edelstahl** umgangssprachlich verbreiteter, aber nach heutiger Normenlage falscher Begriff für „nichtrostende Stähle“. „Edelstähle“ bezeichnen nach DIN EN 10020 (im Gegensatz zu Massenstählen) Stähle mit besonderen Eigenschaften, die eines von 9 Kriterien erfüllen müssen, z.B. besonderen Reinheitsgrad in Phosphor und Schwefel.
- ELC-Stähle** Extra Low Carbon Stähle (siehe auch LC und ULC)
- Elektron** Kleinste Einheit eines elektrischen Ladungsträgers.

Ferrit, ferritisch

Stahlwerkstoff, der bei Raumtemperatur eine kubisch-raumzentrierte Gitterstruktur hat (das Gegenteil ist austenitisch)

Ion Elektrisch geladenes Materieteilchen.

Kathode Elektronenspendender Pol
(das Gegenteil ist die Anode)

Kohlenstoffäquivalent

Kennzahl für die Wirkung der Härtebildner, siehe CEV

Korrosion wörtlich „Zerfressung“ aus *corrodere*, zerfressen
In der Technik versteht man dadurch die langsame Zerstörung eines Werkstückes durch eine chemische Reaktion.

Kriechen zeitabhängige, plastische Verformungen in einem Werkstoff;
in einer vorgespannten Schraubenverbindung tritt dadurch ein Verlust an Vorspannkraft auf (siehe Relaxation)

LASER Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
(Lichtverstärkung durch stimulierte Strahlungsemission)

LC-Stähle Low Carbon Stähle (siehe auch ELC)

Naturhärte Festigkeitseigenschaften, die ein Werkstoff allein aufgrund seiner Legierungseigenschaften hat, d.h. ohne Kaltverformung, Oberflächenhärtung, usw. Durch Schweißen fällt ein Werkstoff auf seine Naturhärte zurück.

nichtrostende Stähle

irreführender Begriff für Chrom(-Nickel-)Stähle, die unter ungünstigen Bedingungen genauso schnell rosten wie ungeschützte schwarze Stähle, zum Teil sogar schneller. Unter günstigen Umständen können sie eine Passivschicht bilden; sie können dann beständig sein gegen unterschiedlichen korrosiven Angriff, wie z.B. atmosphärische Korrosion. Die Passivschicht kann jedoch unbeständig sein/werden gegenüber/bei:

	Verschmutzung, Fremdrost, Kontakt mit anderen Metallen, Chloriden, mangelndem Sauerstoffangebot z.B. in Brackwasser, konstruktiven Spalten, Anlauffarben, usw.
Oxidation	Verbindung eines Stoffes mit „Sauerstoff“; allgemeiner: Abgabe von Elektronen, der oxidierte Stoff ist danach positiv geladen
pH-Wert	negativer Logarithmus der H-Ionen Konzentration in einer Flüssigkeit. pH 7 ist neutral pH 1-7 ist sauer pH 7-15 ist basisch / alkalisch / „laugenartig“
Reduktion	Abgabe des Sauerstoffes aus einer Verbindung; allgemeiner: Aufnahme von Elektronen, der reduzierte Stoff ist danach negativ geladen
Relaxation	Vorspannverlust einer Schraubverbindung durch Kriechen der Werkstoffe (VDI 2230)
Richtlinie	Eine Richtlinie des Europäischen Rates ist nach unserem Sprachgebrauch ein Gesetz.
Rost	volkstümlicher Begriff für die Korrosionsprodukte des Eisens FeO, Eisen(II)-Oxid; schwarz, wasserunlöslich, bei RT aber nicht stabil Fe ₂ O ₃ , Eisen(III)-Oxid (Hämatit); rot bis schwarz, wasserunlöslich Fe ₃ O ₄ , Eisen(II, III)-Oxid (Magnetit); schwarz, wasserunlöslich Fe ₂ O ₃ * H ₂ O, Eisen(III)-Oxidhydrat (Goethit); gelb bis braun Fe ₂ O ₃ * 2H ₂ O, Eisen(III)-Oxidhydrat (Gelbeisenerz); 2Fe ₂ O ₃ * 3H ₂ O, Eisen(III)-Oxidhydrat (Limonit); rotbraun Fe ₂ O ₃ * 3H ₂ O, Eisen(III)-Oxidhydrat (Wiesenerz); dunkelbraun FeO(OH): andere Summenformel für die Eisen(III)-Oxidhydrate Fe(OH) ₂ , Eisen(II)-Hydroxid; weiss, nicht beständig Fe(OH) ₃ , Eisen(III)-Hydroxid; braun
Sauerstoff	Oxygenium (das sauer Machende), chem. Element mit dem Zeichen O
Setzen	plastisches Einebnen von Oberflächenrauigkeiten in Schraubenverbindungen (VDI 2230)

schwarz siehe weiß

Im Sprachgebrauch der Metallbauer wird der Begriff „schwarz“ oder „schwarze Werkstoffe“ zur schnelleren Unterscheidung von „weißen“ Werkstoffen verwendet. Schwarze Werkstoffe umfassen unlegierte Baustähle bis hochfeste Feinkornbaustähle.

schweißgeeignet

Als schweißgeeignet bezeichnet man Stähle mit einem Kohlenstoffgehalt von nicht mehr als 0,22 % bzw. einem Kohlenstoffäquivalent von nicht mehr als ca. 0,35 % bei S235 bzw. 0,45 % bei S355 (siehe DIN EN 10025-2 Tab. 6).

Der Begriff schweißgeeignet müsste eigentlich heißen: „ohne besondere Maßnahmen schweißgeeignet“, denn man kann diese Werkstoffe auch bei deutlicher Überschreitung der angegebenen Grenzwerte noch schweißen, wenn man z.B. ausreichend vorwärmt und die geeigneten Zusatzwerkstoffe und Prozessparameter hat.

tragende Bauteile

„Bauteile für tragende Zwecke zur Sicherstellung der mechanischen Festigkeit und Standsicherheit und/oder des Feuerwiderstandes sowie der Dauerhaftigkeit und der Gebrauchstauglichkeit eines Bauwerks. Tragende Bauteile können direkt im Lieferzustand verwendet werden oder zum Einbau in ein Bauwerk vorgesehen sein.“

(DIN EN 1090-1 Abs. 3.1.9)

ULC-Stähle Ultra Low Carbon Stähle (siehe auch ELC)

weiß siehe schwarz

Im Sprachgebrauch der Metallbauer wird der Begriff „weiß“ oder „weiße Werkstoffe“ synonym für den technisch korrekten aber unhandlichen Begriff „hochlegierte Chrom-Nickel-Stähle“ verwendet.

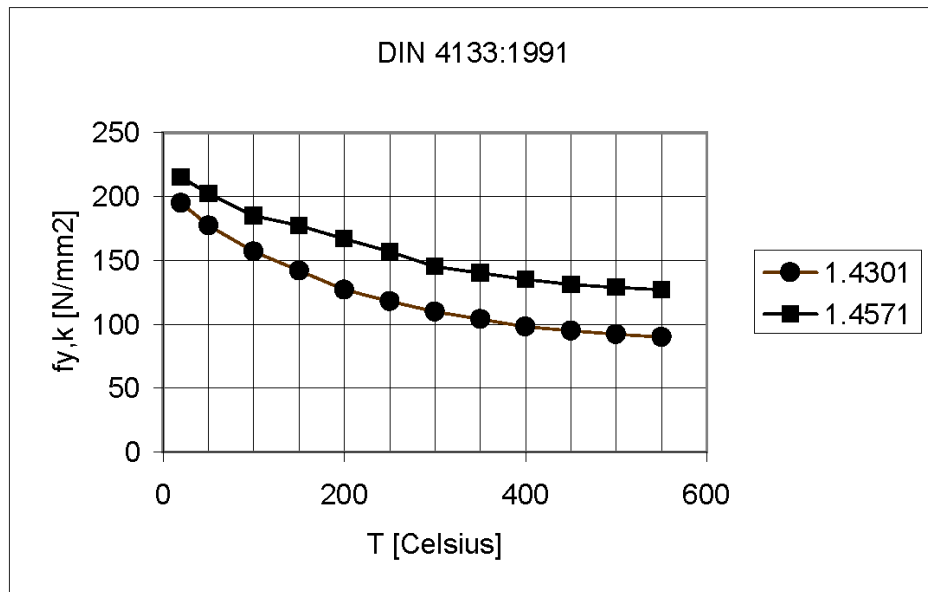
Schreibweise

Indizes werden vereinfachend durch Komma abgetrennt, z.B.

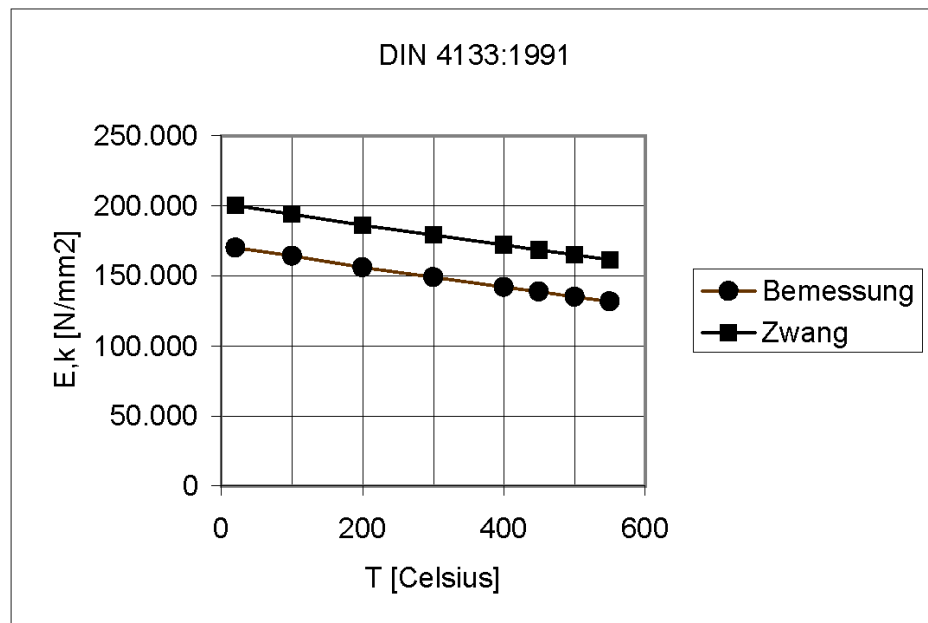
$\gamma_{,M2} = \gamma_{M2}$ lies: gamma Index M2

$\alpha_{,T} = \alpha_T$ lies: alpha Index T

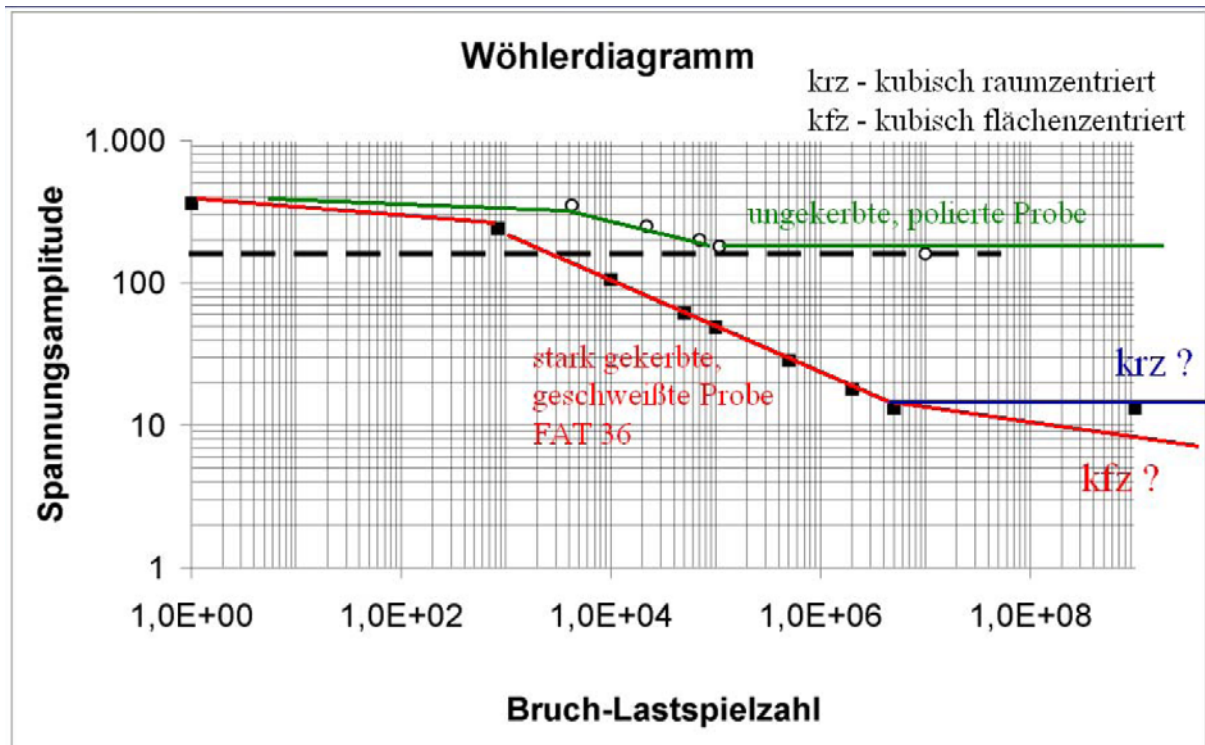
In den folgenden Diagrammen ist die Temperaturabhängigkeit der Festigkeitseigenschaften grafisch dargestellt:



0,2-Dehngrenze in Abhängigkeit von der Temperatur



E-Modul in Abhängigkeit von der Temperatur



Fiktive Wöhlerlinie für FAT 36 nach EC3-1-9 (Knödel 2006)

Die Grenze zwischen „vorwiegend ruhender“ und „nicht vorwiegend ruhender“ Beanspruchung ist NIRGENDS belastbar definiert.
Bei entsprechend scharfen Kerben muss spätestens nach 10000 Volllastwechseln mit Ermüdungsschäden gerechnet werden.

Austenitische Stähle (kubisch-flächenzentriert) unterscheiden sich von ferritischen (kubisch-raumzentriert) dadurch, dass sie aufgrund ihrer Gitterstruktur keine Dauerfestigkeit haben, d.h. die Linie für den Dauerfestigkeitsbereich verläuft nach dem letzten Knick nicht waagrecht, sondern weiterhin mit einer gewissen Neigung nach unten.

Im Gegensatz dazu behandeln alle in letzter Zeit erschienenen Normenwerke die austenitischen nichtrostenden Stähle ausdrücklich wie die ferritischen unlegierten Baustähle.

DIN V 4133:2007 Abs. B.1:

Die folgenden Festlegungen gelten für den Nachweis der Betriebsfestigkeit von Konstruktionen aus allgemeinen Baustählen, nichtrostenden Stählen und warmfesten Stählen mit einer Streckgrenze von höchstens 400 N/mm^2 und Schrauben bis zur Festigkeitsklasse 10.9 unter wechselnden Beanspruchungen konstanter Amplitude.

Z-30.3-6:2009 Abs. 1.2 Anwendungsbereich

Diese allgemeine bauaufsichtliche Zulassung gilt für vorwiegend ruhend beanspruchte Bauteile und Verbindungen ...

Z-30.3-6:2009 Abs. 3.3.4 Betriebsfestigkeit

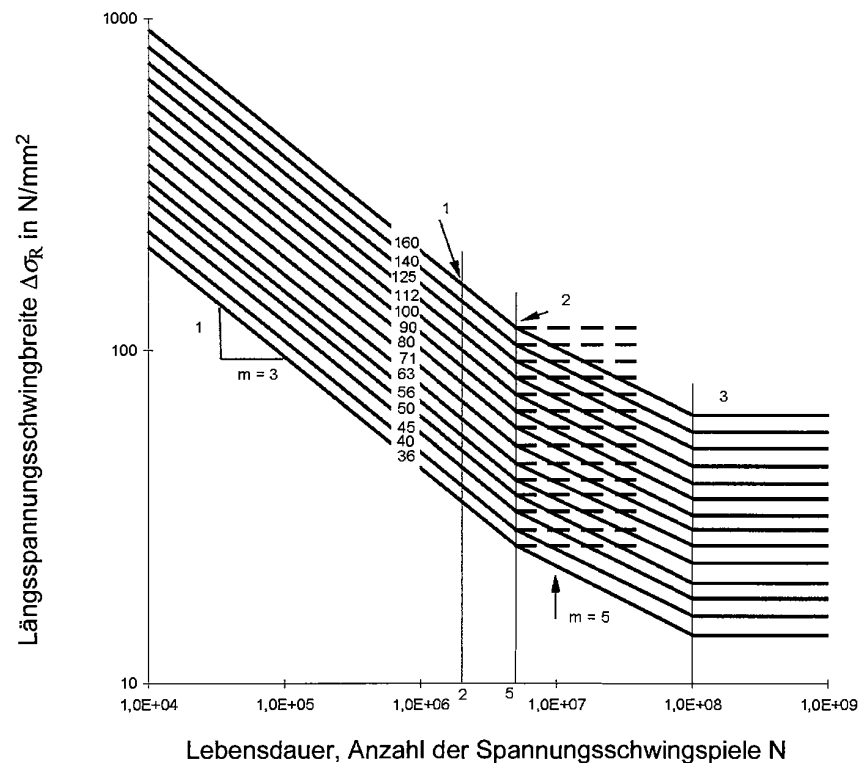
Die Bedingungen (25) und (26) in DIN 18800-1:2008-11 sind durch

$$\Delta\sigma < 21 \text{ N/mm}^2 \quad \text{für (25)}$$

$$n < 10^7 (21/\Delta\sigma)^3 \quad \text{für (26)}$$

zu ersetzen.

Die angeführte Bedingung der Zulassung entspricht der Annahme einer Dauerfestigkeit bei $\Delta\sigma < 21 \text{ N/mm}^2$.



Legende

- 1 Kerbfall $\Delta\sigma_C$
- 2 Dauerfestigkeit $\Delta\sigma_D$
- 3 Schwellenwert der Ermüdungsfestigkeit $\Delta\sigma_L$

Bild 7.1 — Ermüdungsfestigkeitskurve für Längsspannungsschwingbreiten

Bemessungskurven nach EC3-1-9

Derzeit ist es daher legal, aber meiner Ansicht nach technisch möglicherweise technisch falsch, Ermüdungsnachweise für Konstruktionen aus nichtrostenden Stählen nach den angegebenen Regeln zu führen.

Schreiben Sie in Ihren Standsicherheitsnachweis / Berechnung / Auslegung:
Die Berechnung wird nach <Norm/Regelwerk> Abschnitt xyz bzw. Gleichung xyz geführt. Diese Norm gilt als anerkannte Regel der Technik.

Eine Veröffentlichung zur Erläuterung der Hintergründe ist seit 2007 „in Vorbereitung“ (Ummenhofer / Knödel).

4.4 Passivierungsmechanismus

4.4.1 Allgemeines

Durch einen Chromanteil von mindestens 13 % (13 % ist das Schulbuchwissen für SFM und SFI, nach DIN EN 10088-1 Tabelle 2 gibt es ferritische nichtrostende Stähle schon ab 10,5 %) in „nichtrostenden“ Stählen (z.B. bei Waschmaschinentrommeln und „Edelstahlpülen“) lagert sich an der Oberfläche der Stähle eine aus mehreren Lagen bestehende Schicht aus atomarem Sauerstoff an. Dieser befindet sich in dynamischem Gleichgewicht mit dem Sauerstoffangebot aus der Umgebung (gasförmig oder gelöst in Wasser), so dass eine ständige Belüftung oder ein Sauerstoffgehalt in wässrigem Medium von mindestens 200 ppm erforderlich ist (Steidl 2005).

Wenn Sie den Einsatz eines nichtrostenden Stahles in wässriger Umgebung planen schreiben Sie in Ihre Spezifikation: Ich gehe davon aus, dass im Wasser ein Angebot an freiem Sauerstoff von mindestens 200 ppm vorhanden ist. Nur dann kann der Selbstpassivierungsmechanismus des Werkstoffes aufrecht erhalten werden.

Unter natürlichen Umständen, d.h. in trockener, ausreichend sauerstoffreicher Umgebung, dauert der Aufbau der Passivschicht ca. 6-8 Stunden.

Eine Verunreinigung an der Oberfläche des Werkstoffes kann schon genügen, um den Passivierungsmechanismus zu stören. Der „nichtrostende Stahl“ rostet dann wie ein üblicher Eisenwerkstoff.

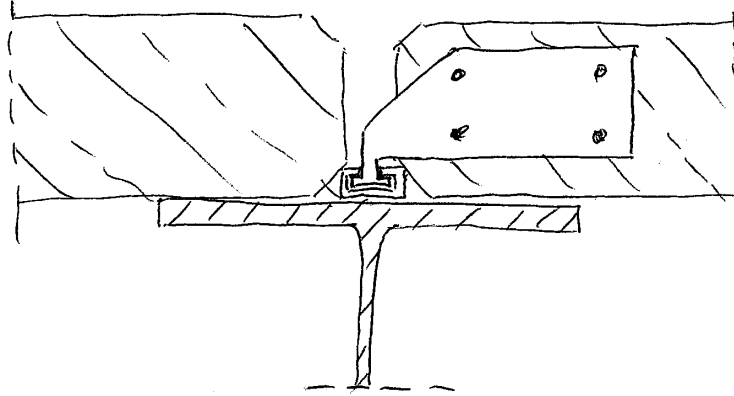
Zu den Verunreinigungen gehören auch die Anlauffarben (Oxidschichten), die beim Schweißen entstehen, und möglicherweise nicht vollständig entfernt werden. In der chemischen Industrie oder der Lebensmittelindustrie wird aus hygienischen Gründen ein vollständiges Entfernen der Anlauffarben zwingend gefordert.

Bei Anwendungen im Bauwesen, z.B. im Stahlschornsteinbau, geht man heute davon aus, dass hellgelbe Anlauffarben die Korrosionsbeständigkeit nicht unzulässig herabsetzen (Finke et al. 1999, Steidl/Stibbe/Knödel 2010).

In der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung wird ein Teil der austenitischen Stähle vier unterschiedlichen Korrosionswiderstandsklassen zugeordnet.

7. Fallbeispiele

7.1 Gewerbebau: Halfenschienen für Porenbeton



Anschluss von Porenbeton-Fassadenplatten an eine Stahlstütze

Zum Anschluss von Porenbeton-Fassadenplatten an eine Stahlstütze gibt es (zugelassene?) Nagelbleche aus nichtrostendem Stahl. Um die Zunge des Nagelbleches aufzunehmen, werden ca. 100 mm lange Abschnitte aus nichtrostenden Halfenschienen im Abstand von 62,5 cm an die Stahlstütze geschweißt.

Diese Schwarz-Weiß-Verbindung wird üblicherweise E-Hand mit Elektroden Durchmesser 2,5 mm geschweißt (siehe DIN EN 1600).

7.2 Auflagerdolle an einem Fassadenelement

Bei dem folgenden Bild handelt es sich planmäßig um eine von außen geschweißte HV-Naht.

8. Literaturhinweise und Quellen

8.1 Normen und Regelwerke

Hinweis:

Die nachfolgend angegebenen Normen dienen als Hintergrundinformation; bei Bedarf bitte selbst klären, ob diese noch aktuell sind, z.B. über www.beuth.de.

- [1] DIN EN 1090: Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken. Execution of steel structures and aluminium structures.
Teil 1: Konformitätsnachweisverfahren für tragende Bauteile. Deutsche Fassung EN 1090-1:2009. Ausgabe Oktober 2009. Requirements for conformity assessment of structural components.
Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken. Deutsche Fassung EN 1090-2:2008. Ausgabe Dezember 2008. Technical requirements for steel structures.
Teil 3: Technische Regeln für die Ausführung von Aluminiumtragwerken; Deutsche Fassung EN 1090-3:2008. Ausgabe September 2008. Technical requirements for aluminium structures.
- [2] DIN EN 1600: Umhüllte Stabelektroden zum Lichtbogenhandschweißen von nichtrostenden und hitzebeständigen Stählen – Einteilung. Deutsche Fassung EN 1600:1997. Oktober 1997. Welding consumables. Covered electrodes for manual metal arc welding of stainless and heat resisting steels – Classification.
- [3] DIN EN 1993/NA (EC3): Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten.
Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau. Entwurf Oktober 2007.
Teil 1-4: Ergänzende Regeln zur Anwendung von nichtrostenden Stählen. Entwurf April 2010.
Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen. Entwurf August 2007.
Teil 1-9: Ermüdung. Entwurf August 2007.
- [4] DIN EN 1993 Eurocode 3 (EC3): Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten. Design of steel structures.
Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau. Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2005. Ausgabe Juli 2005. General rules and rules for buildings.
Berichtigung 1 zu Teil 1-1. Berichtigungen zu DIN EN 1993-1-1:2005-07; Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2005/AC:2006. Ausgabe Mai 2006.
Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall. Oktober 2006. Deutsche Fassung EN 1993-1-2:2005 + AC:2005. General rules – Structural fire design.
DIN EN 1993-1-2 Berichtigung 1:2009-05 Berichtigung zu DIN EN 1993-1-2:2006-10. Deutsche Fassung EN 1993-1-2:2005/AC:2009.
Teil 1-3: Allgemeine Regeln – Ergänzende Regeln für kaltgeformte dünnwandige Bauteile und Bleche; Deutsche Fassung EN 1993-1-3:2006. Ausgabe Februar 2007.
Part 1-3: Supplementary rules for cold-formed members and sheeting;

Berichtigung 1 vom November 2009.

Teil 1-4: Allgemeine Bemessungsregeln – Ergänzende Regeln zur Anwendung von nichtrostenden Stählen; Deutsche Fassung EN 1993-1-4:2006. Ausgabe Februar 2007.

Part 1-4: Supplementary rules for stainless steels.

Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen; Deutsche Fassung EN 1993-1-6:2007. Ausgabe Juli 2007.

Part 1-6: Strength and stability of shell structures;

Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005. Juli 2005.

Part 1-8: Design of joints.

Berichtigung 1 zu Teil 1-8: Berichtigungen zu DIN EN 1993-1-8:2005-07; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005/AC:2005. Ausgabe März 2006.

Teil 1-9: Ermüdung. Deutsche Fassung EN 1993-1-9:2005. Ausgabe Juli 2005.

Berichtigung 1 zu Teil 1-9: Berichtigung zu DIN EN 1993-1-9:2005-07; Deutsche Fassung EN 1993-1-9:2005/AC:2009. Ausgabe Dezember 2009.

Part 1-9: Fatigue.

Teil 1-10: Stahlsortenauswahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung; Deutsche Fassung EN 1993-1-10:2005. Ausgabe Juli 2005.

Berichtigung 1 zu Teil 1-10: Berichtigungen zu DIN EN 1993-1-10:2005-07; Deutsche Fassung EN 1993-1-10:2005/AC:2005. Ausgabe März 2006.

Teil 2: Stahlbrücken. Deutsche Fassung EN 1993-2:2006. Februar 2007. Steel Bridges.

Teil 4-1: Silos. Juli 2007. Deutsche Fassung EN 1993-4-1:2007.

Berichtigung 1 September 2009.

Part 4-1: Silos.

Teil 4-2: Tankbauwerke; Deutsche Fassung EN 1993-4-2:2007. August 2007.

Berichtigung 1 Mai 2010.

Part 4-2: Tanks.

Teil 4-3: Rohrleitungen. Deutsche Fassung EN 1993-4-3:2007. Juli 2007.

Berichtigung 1 September 2009.

Part 4-3: Pipelines.

Teil 6: Kranbahnen. Deutsche Fassung EN 1993-6:2007. Ausgabe Juli 2007.

Part 6: Crane supporting structures.

Berichtigung 1 zu Teil 6: Berichtigung zu DIN EN 1993-6:2007-07; Deutsche Fassung EN 1993-6:2007/AC:2009. Ausgabe September 2009.

- [5] DIN EN ISO 3506: Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus nichtrostenden Stählen.

Mechanical properties of corrosion-resistant stainless steel fasteners.

Teil 1: Schrauben (ISO 3506-1:2009). April 2010. Deutsche Fassung EN ISO 3506-1:2009.

Teil 1: Schrauben. Entwurf April 2008. Deutsche Fassung prEN ISO 3506-1:2008.

Teil 1: Schrauben. März 1998. Deutsche Fassung EN ISO 3506-1:1997.

Part 1: Bolts, screws and studs.

Teil 2: Muttern (ISO 3506-2:2009). April 2010. Deutsche Fassung EN ISO 3506-2:2009.

Teil 2: Muttern. Entwurf April 2008. Deutsche Fassung prEN ISO 3506-2:2008.

Teil 2: Muttern. März 1998. Deutsche Fassung EN ISO 3506-2:1997.

Part 2: Nuts.

Teil 3: Gewindestifte und ähnliche, nicht auf Zug beanspruchte Schrauben (ISO 3506-3:2009). April 2010. Deutsche Fassung EN ISO 3506-3:2009.

Teil 3: Gewindestifte und ähnliche, nicht auf Zug beanspruchte Schrauben. Entwurf April 2008. Deutsche Fassung prEN ISO 3506-3:2008.

- Teil 3: Gewindestifte und ähnliche, nicht auf Zug beanspruchte Schrauben. März 1998.
Deutsche Fassung EN ISO 3506-3:1997.
Part 3: Set screws and similar fasteners not under tensile stress.
- Teil 4: Blechschrauben (ISO 3506-4:2009). April 2010. Deutsche Fassung EN ISO 3506-4:2009.
- Teil 4: Blechschrauben. Entwurf April 2008. Deutsche Fassung prEN ISO 3506-4:2008.
- Teil 4: Blechschrauben. Oktober 2003. Deutsche Fassung EN ISO 3506-4:2003.
- Part 4: Tapping screws.
(Auf Teil 1 und Teil 2 sitzt ein normativer, datierter Verweis aus DIN EN 1090-2:2008)
- [6] DIN EN ISO 3651: Ermittlung der Beständigkeit nichtrostender Stähle gegen interkristalline Korrosion. Determination of resistance to intergranular corrosion of stainless steels.
Teil 1: Nichtrostende austenitische und ferritisch-austenitische (Duplex)-Stähle; Korrosionsversuch in Salpetersäure durch Messung des Massenverlustes (Huey-Test) (ISO 3651-1:1998); Deutsche Fassung EN ISO 3651-1:1998. August 1998.
Part 1: Austenitic and ferritic-austenitic (duplex) stainless steels; Corrosion test in nitric acid medium by measurement of loss in mass (Huey test).
Teil 2: Nichtrostende austenitische und ferritisch-austenitische (Duplex)-Stähle; Korrosionsversuch in schwefelsäurehaltigen Medien (ISO 3651-2:1998); Deutsche Fassung EN ISO 3651-2:1998. August 1998.
Part 2: Ferritic, austenitic and ferritic-austenitic (duplex) stainless steels; Corrosion test in media containing sulfuric acid.
- [7] DIN EN ISO 4063: Schweißen und verwandte Prozesse – Liste der Prozesse und Ordnungsnummern (ISO 4063:1998); Dreisprachige Fassung EN ISO 4063:2000. Ausgabe April 2000.
Welding and allied processes – Nomenclature of processes and reference numbers.
- [8] DIN V 4133:2007-07 Freistehende Stahlschornsteine. Free-standing steel stacks.
(in LTB BW vom 06.05.2009 aufgeführt)
- [9] DIN EN ISO 8044:1999-11 Korrosion von Metallen und Legierungen – Grundbegriffe und Definitionen (ISO 8044:1999); Dreisprachige Fassung EN ISO 8044:1999.
Corrosion of metals and alloys – Basic terms and definitions (ISO 8044:1999); Trilingual version.
- [10] DIN EN ISO 9001: Qualitätsmanagementsysteme. Anforderungen (ISO 9001:2008); Dreisprachige Fassung EN ISO 9001:2008. Ausgabe Dezember 2008. Quality management systems. Requirements; Trilingual version.
Mit Berichtigung Dezember 2009.
- [11] DIN EN 10020: Begriffsbestimmungen für die Einteilung der Stähle; Deutsche Fassung EN 10020:2000. Juli 2000.
Definition and classification of grades of steel.
- [12] DIN EN 10025: Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen.
Hot rolled products of structural steels.
Teil 1: Allgemeine technische Lieferbedingungen. Februar 2005.
Part 1:2005-02 General technical delivery conditions.
Teil 2: Technische Lieferbedingungen für unlegierte Baustähle. April 2005.
Part 2:2005-04 Technical delivery conditions for non-alloy structural steels.
Teil 3: Technische Lieferbedingungen für normalgeglühte/normalisierend gewalzte schweißgeeignete Feinkornbaustähle. Februar 2005.

- Part 3: Technical delivery conditions for normalized/normalized rolled weldable fine grain structural steel.
Teil 4: Technische Lieferbedingungen für thermomechanisch gewalzte schweißgeeignete Feinkornbaustähle. April 2005.
Part 4: Technical delivery conditions for thermomechanical rolled weldable fine grain structural steels.
Teil 5: Technische Lieferbedingungen für wetterfeste Baustähle. Februar 2005.
Part 5: Technical delivery conditions for structural steels with improved atmospheric corrosion resistance.
Teil 6: Technische Lieferbedingungen für Flacherzeugnisse aus Stählen mit höherer Streckgrenze im vergüteten Zustand. Februar 2005.
Part 6: Technical delivery conditions for flat products of high yield strength structural steels in the quenched and tempered condition.
- [13] DIN EN 10028: Flacherzeugnisse aus Druckbehälterstählen.
Flat products made of steels for pressure purposes.
Teil 1: Allgemeine Anforderungen. 2008-02. Deutsche Fassung EN 10028-1:2007.
Part 1: General requirements.
Teil 7: Nichtrostende Stähle. 2008-02. Deutsche Fassung EN 10028-7:2007.
Part 7: Stainless steels.
- [14] DIN EN 10088: Nichtrostende Stähle. Stainless steels.
Teil 1:2005-09 Verzeichnis der nichtrostenden Stähle (Deutsche Fassung EN 10088-1:2005).
Part 1:2005-09 List of stainless steels.
Teil 2:2005-09 Technische Lieferbedingungen für Blech und Band aus korrosionsbeständigen Stählen für allgemeine Verwendung (Deutsche Fassung EN 10088-2:2005).
Part 2:2005-09 Technical delivery conditions for sheet/plate and strip of corrosion resisting steels for general purposes.
Teil 3:2005-09 Technische Lieferbedingungen für Halbzeug, Stäbe, Walzdraht, gezogenen Draht, Profile und Blankstahlerzeugnisse aus korrosionsbeständigen Stählen für allgemeine Verwendung (Deutsche Fassung EN 10088-3:2005).
Part 3:2005-09 Technical delivery conditions for semi-finished products, bars, rods, wire, sections and bright products of corrosion resisting steels for general purposes.
Teil 4 (Entwurf):2006-01 Technische Lieferbedingungen für Blech und Band aus korrosionsbeständigen Stählen für das Bauwesen (Deutsche Fassung prEN 10088-4:2005).
Part 4 (draft):2006-01 Technical delivery conditions for sheet/plate and strip of corrosion resisting steels for construction purposes.
Teil 5:2009-07 Technische Lieferbedingungen für Stäbe, Walzdraht, gezogenen Draht, Profile und Blankstahlerzeugnisse aus korrosionsbeständigen Stählen für das Bauwesen (Deutsche Fassung prEN 10088-5:2009).
Teil 5 (Entwurf):2006-01 Technische Lieferbedingungen für Stäbe, Walzdraht, gezogenen Draht, Profile und Blankstahlerzeugnisse aus korrosionsbeständigen Stählen für das Bauwesen (Deutsche Fassung prEN 10088-5:2005).
Part 5 (draft):2006-01 Technical delivery conditions bars, rods, wire, sections and bright products of corrosion resisting steels for construction purposes.
- [15] DIN EN 10204: Metallische Erzeugnisse; Arten von Prüfbescheinigungen. Januar 2005.
Deutsche Fassung EN 10204:2004.
Metallic products; Types of inspection documents.

- [16] DIN 11850: Rohre aus nichtrostendem Stahl für Lebensmittel und Chemie – Maße, Werkstoffe. Juni 2009.
Stainless steel tubes for the food and chemical industries – Dimensions, materials.
- [17] DIN EN 12502: Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe – Hinweise zur Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit in Wasserverteilungs- und -speichersystemen.
Protection of metallic materials against corrosion – Guidance on the assessment of corrosion likelihood in water distribution and storage systems.
Teil 4: Einflussfaktoren für nichtrostende Stähle. 2005-05. Deutsche Fassung EN 12502-4:2004.
Part 4: Influencing factors for stainless steels. 2005-05.
- [18] DIN EN ISO 14343: Schweißzusätze. Drahtelektroden, Bandelektroden, Drähte und Stäbe zum Lichtbogenschweißen von korrosionsbeständigen und hitzebeständigen Stählen – Einteilung (ISO 14343:2009); Deutsche Fassung EN ISO 14343:2009. April 2010.
Welding consumables. Wire electrodes, strip electrodes, wires and rods for arc welding of stainless and heat resisting steels – Classification.
- [19] DIN EN ISO 14731: Schweißaufsicht – Aufgaben und Verantwortung (ISO 14731:2006); Deutsche Fassung EN ISO 14731:2006. Ausgabe Dezember 2006. Welding coordination – Tasks and responsibilities.
- [20] DIN EN ISO 15609 Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe. Schweißanweisung. Specification and qualification of welding procedures for metallic materials. Welding procedure specification.
Teil 1: Lichtbogenschweißen. Januar 2005; Deutsche Fassung EN ISO 15609-1:2004. Arc welding.
Teil 2: Gasschweißen. Dezember 2001; Deutsche Fassung EN ISO 15609-2:2001. Gas welding.
- [21] DIN EN ISO 16812:2007-06 Erdöl-, petrochemische und Erdgasindustrie – Rohrbündelwärmetauscher (ISO 16812:2007); Englische Fassung EN ISO 16812:2007.
Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Shell-and-tube heat exchangers.
- [22] DIN 18800: Stahlbauten. Steel structures.
Teil 1:2008-11 Bemessung und Konstruktion. Design and construction.
Teil 7:2008-11 Ausführung und Herstellerqualifikation. Execution and constructor's qualification.
- [23] DIN 28187: Rohrbündel-Wärmeaustauscher – Rohr/Rohrboden-Befestigungen. September 2009.
- [24] VDI 2230 Blatt 1: Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen – Zylindrische Einschraubenverbindungen. Februar 2003, Berichtigter Nachdruck Oktober 2003.
Systematic calculation of high duty bolted joints – Joints with one cylindrical bolt.
- [25] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-30.3-6: Erzeugnisse, Verbindungsmittel und Bauteile aus nichtrostenden Stählen. Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin, 20.04.09.
Geltungsdauer bis 30.04.2014.
Sonderdruck 862, Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Düsseldorf
www.edelstahl-rostfrei.de
(ERSTE Zulassung am 31.05.1974 – siehe Fußnote in Zulassung vom 05.12.2003)

- [26] Verband der Technischen Überwachungs-Vereine e.V. (Hrsg):
AD-Merkblätter, Taschenbuch-Ausgabe 2002. Stand Mai 2002. Heymanns Verlag, Köln /
Beuth Verlag, Berlin.
- [27] VdTÜV-Werkstoffblatt: Austenitisch-ferritischer Stahl X2 CrMnNi 22-5-2, Werkstoff Nr.
1.4162, Herstellerbezeichnung LDX 2101. Entwurf 556, 10.2008, 6 Seiten.

8.2 Fachliteratur

- [28] Anik, S., Dorn, L.: Metallphysikalische Vorgänge beim Schweißen hochlegierter, insbeson-
dere rostbeständiger Stähle – Gefügeaufbau. Schweißen und Schneiden 34 (1982), Heft 10,
S. 485-490.
- [29] Finke, M., Pries, H., Wohlfahrt, H.: Aufbau und Korrosionsanfälligkeit der Oxidschichten
bei CrNi-Stählen. 4. VSA-Symposium, Bad Kissingen, 29.04.99, Tagungsband. Industrie-
verband Schornsteinbau und Abgastechnik e.V. (VSA), Postfach 10 17 40, 75117 Pforz-
heim.
- [30] Garz, I., Göllner, J., Schultze, S.: Einfluß der Anlaufschichten auf das Korrosionsverhalten
von hochlegierten Chrom-Nickel-Stählen. Schweißen&Schneiden 48 (1996) Heft 1, S. 62-
64.
- [31] Knödel, P.: Lehrmaterialien zur Vorlesung Behälterbau an der Fachhochschule Karlsruhe,
erreichbar unter www.peterknoedel.de/lehre/lehre.htm, von März 2003 bis Januar 2006 lau-
fend aktualisiert.
Projekte P_Baurecht_NRW_05-04-02, Technisches Baurecht NRW am Beispiel eines Silos,
15 Seiten.
- [32] Knödel, P.: Rechnerische Ermüdungsnachweise für geschweißte Bauteile. Vortrag in der
SLV Mannheim am 26.01.2006. Skript herunterladbar von www.peterknoedel.de.
- [33] Knödel, P.: Schweißgerechtes Konstruieren an ausgewählten Beispielen. Vortrag an der SL-
Eslohe am 26.10.2006, herunterladbar unter www.peterknoedel.de.
- [34] Knödel, P.: Schweißanschlüsse bei „Außergewöhnlichen Einwirkungen“. Vortrag in der
SLV Mannheim am 01.02.2007. Skript enthalten in den Seminarunterlagen der SLV Mann-
heim und herunterladbar von www.peterknoedel.de.
- [35] Knödel, P.: Lehrmaterialien zur Vorlesung Stahlbau an der Fachhochschule Augsburg, er-
reichbar unter www.peterknoedel.de/lehre/lehre.htm, seit März 2007 laufend aktualisiert.
Skriptum zu
Grundaufgaben – Dauerhaftigkeit / Korrosion – Selbstpassivierende Werkstoffe
Grundaufgaben – Dauerhaftigkeit / Korrosion – Korrosion
- [36] Krämer, G.: persönliche Mitteilung an Peter Knödel. April 1998.
- [37] Liers: Aufschmelzungsrisse in Schwarz-Weiß-Verbindungen. Schweißen + Schneiden 41
(1989), H. 11, S. 596-600.
- [38] Lober, D.: Unterlagen zur Metallografie. www.metallograf.de, 21.08.2010.
- [39] Nürnberger, U.: Korrosion und Korrosionsschutz im Bauwesen.
Band 1: Grundlagen, Betonbau.
Band 2: Metallbau, Korrosionsprüfung.
Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin, 1995.

- [40] Steidl, G.: Persönliche Mitteilung an P. Knödel, 22.09.05.
- [41] Schmidt, H., Hautala, K.T.: Beulstabilität axialgedrückter Kreiszyinderschalen aus austenitischen nichtrostenden Stählen bei normalen und erhöhten Temperaturen. Bauingenieur Band 76 (2001), Heft 10, S. 464–473.
- [42] Steidl, F., Stibbe, R., Knödel, P.: Anlauffarben im Bauwesen – immer wieder strittig. Große Schweißtechnische Tagung, Nürnberg 2010.
- [43] Ummenhofer, Th., Knödel, P.: Ermüdungsverhalten von nichtrostenden Stählen. (in Vorbereitung)
- [44] Verein deutscher Eisenhüttenleute (ed.): Steel. A Handbook for Materials Research and Engineering.
Volume 1: Fundamentals. Springer, Berlin 1992.
Volume 2: Applications. Springer, Berlin 1993.
- [45] Verein deutscher Eisenhüttenleute (Hrsg.): Werkstoffkunde Stahl.
Band 1: Grundlagen. Springer, Berlin 1984. (vergriffen Stand 08/05)
Band 2: Anwendung. Springer, Berlin 1985. (vergriffen Stand 08/05)
(ebenso: Verlag Stahleisen m.b.H. Düsseldorf)
Verantwortlich für Entwurf und Durchführung: W. Jäniche, W. Dahl, H.-F. Klärner, W. Pitsch, D. Schauwinhold, W. Schlüter, H. Schmitz.
- [46] Volz, M.: Telefonische Mitteilungen an P. Knödel, Januar 2010. Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Universität Karlsruhe (KIT).
- [47] Zahn, K.-H.: Heftschweißungen im Rohrleitungs- und Apparatebau. Vortrag in der SLV Mannheim am 28.01.2010. Seminar Fortbildung für Schweißaufsichtspersonen. Skript (Papierform und digital) enthalten in den Seminarunterlagen der SLV Mannheim.

8.3 Sonstiges

- [48] Download des CE-Zeichens (CE Marking)
<http://ec.europa.eu/enterprise/faq/ce-mark.htm>
Council Decision 93/465/EC Official journal n. L 220 of 30/08/1993 p. 23-29
kann auch über die IHKs erreicht werden, z.B. IHK Karlsruhe
<http://www.karlsruhe.ihk.de/produktmarken/innovation/innovation/CEKennzeichnung.jsp>
- [49] Chemische Beständigkeit der NIROSTA-Stähle. Ausgabe 2, Stand 02/2003. ThyssenKrupp Nirosta GmbH. Oberschlesienstr. 16, D-47794 Krefeld. www.nirosta.de.
- [50] IWMF Institut für Materialprüfung, Werkstoffkunde und Festigkeitslehre, Universität Stuttgart,
www.imwf.uni-stuttgart.de/lehre/vd/wkp/Script_pdf/04_Kerbschlag.pdf, 16.01.07.
- [51] MB 822: Informationsstelle Edelstahl Rostfrei (Hrsg.): Merkblatt 822 – Die Verarbeitung von Edelstahl Rostfrei. 3. überarbeitete Aufl. Düsseldorf 2001.
www.edelstahl-rostoffrei.de
- [52] MB 823: Informationsstelle Edelstahl Rostfrei (Hrsg.): Merkblatt 823 – Schweißen von Edelstahl Rostfrei. 4. überarbeitete Aufl. Düsseldorf 2004.
www.edelstahl-rostoffrei.de

- [53] MB 830: Informationsstelle Edelstahl Rostfrei (Hrsg.): Merkblatt 830 – Edelstahl Rostfrei in chloridhaltigen Wässern. 2. Aufl. Düsseldorf 1997.
www.edelstahl-rostfrei.de
- [54] MB 831: Informationsstelle Edelstahl Rostfrei (Hrsg.): Merkblatt 831 – Edelstahl Rostfrei in Schwimmbädern. 2. Aufl. Düsseldorf 2000.
www.edelstahl-rostfrei.de
- [55] MB 870: Informationsstelle Edelstahl Rostfrei (Hrsg.): Merkblatt 870 – Industrieschornsteine aus Edelstahl Rostfrei. 1. Aufl. Düsseldorf 1997.
www.edelstahl-rostfrei.de
- [56] MB 893: Informationsstelle Edelstahl Rostfrei (Hrsg.): Merkblatt 893 – Edelstahl Rostfrei für die Wasserwirtschaft. 1. Aufl. Düsseldorf 2007.
www.edelstahl-rostfrei.de
- [57] MB 969: Euro Inox (Hrsg.): Merkblatt 969 – Fertigung und Montage von Konstruktionen aus nichtrostendem Stahl – allgemeine Hinweise. 1. Aufl. Luxemburg 2006.
www.edelstahl-rostfrei.de
- [58] MB 972: Euro Inox (Hrsg.): Merkblatt 972 – Formgebungsmöglichkeiten von nichtrostendem Stahl. 1. Aufl. Luxemburg 2008.
www.edelstahl-rostfrei.de
- [59] Möll, R.: Lehrunterlagen Schweißfachmann. Institut für Schweißtechnik, Darmstadt 1994.
- [60] www.corrosion-failures.com

8.4 Bildmaterial

Die Bildautoren sind unter jedem Bild angegeben.

- [61] Hans Bär, RAUM INOX GmbH, Eichenhainstr. 19-23, D-91217 Hersbruck, +49 9151 7303-17, Fax -12, h.baer@raum-inox.de
- [62] Dipl.-Ing. Ralf Steinmetz, Steinmetz und Steinmetz Ingenieure GmbH, Pforzheimer Str. 53, D-76275 Ettlingen, +49 7243 5422-0, Fax -55, info@sus-ingenieure.de
- [63] Valent Vlastic, Heuser & Vlastic GmbH, Ottostrasse 9, D-76344 Eggenstein, +49 721 97874-0, Fax -22, heuser-vlastic@t-online.de, www.heuser-vlastic.de