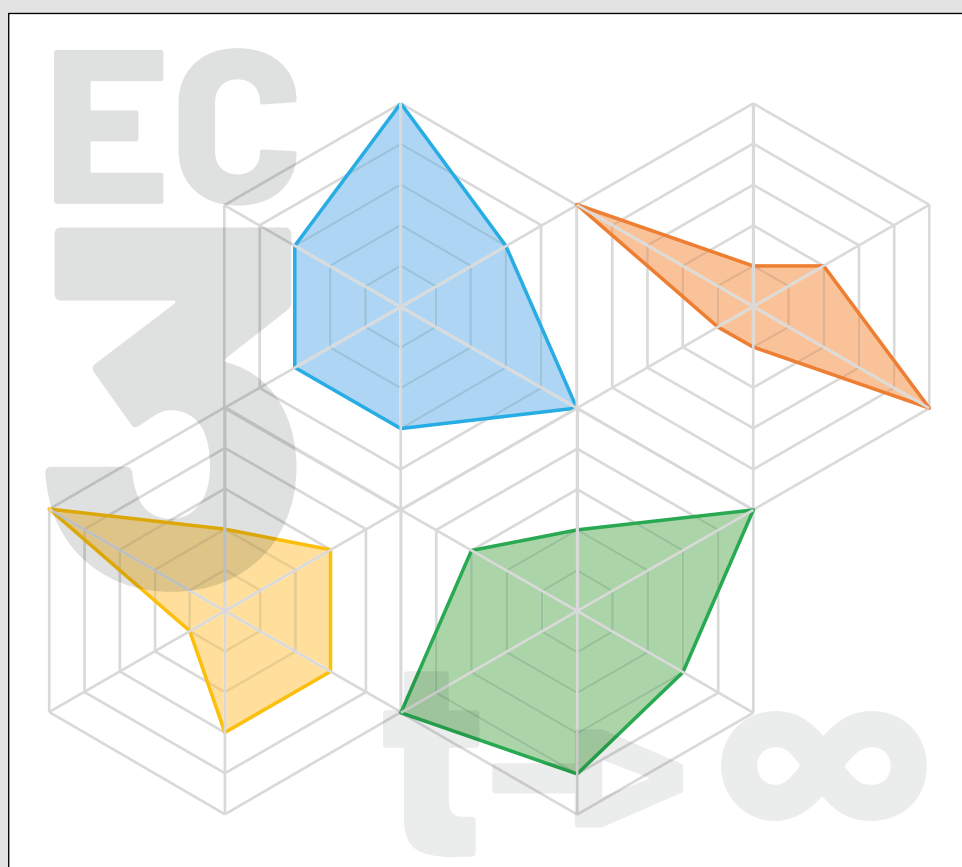


Merkblatt 820

Orientierungshilfe zur Werkstoffauswahl nichtrostender Stähle



Informationsstelle Edelstahl Rostfrei

Die Informationsstelle Edelstahl Rostfrei

Die Informationsstelle Edelstahl Rostfrei (ISER) ist eine Gemeinschaftsorganisation von Unternehmen und Institutionen aus den Bereichen

- Edelstahlherstellung,
- Edelhändlerhandel und Anarbeitung,
- Edelstahlverarbeitung,
- Oberflächenveredelung,
- Legierungsmittelindustrie,
- Dienstleistungen und Verlage für nichtrostende Stähle.

Die Aufgaben der ISER umfassen die firmenneutrale Information über Eigenschaften und Anwendungen von Edelstahl Rostfrei. Schwerpunkte der Aktivitäten sind

- praxisbezogene, zielgruppenorientierte Publikationen,
- Online-Informationsplattform unter www.edelstahl-rostfrei.de,
- Pressearbeit für Fach- und Publikumsmedien,
- Messebeteiligungen,
- Durchführung von Schulungsveranstaltungen,
- Errichtung von Kompetenzzentren „Edelstahl-Rostfrei-Verarbeitung“
- Informationen über Bezugsmöglichkeiten von Produkten aus Edelstahl Rostfrei,
- individuelle Bearbeitung technischer Anfragen.

Alle ISER Publikationen stehen zum kostenfreien Download unter www.edelstahl-rostfrei.de/publikationen zur Verfügung.

Impressum

Merkblatt 820
Orientierungshilfe zur Werkstoffauswahl
nichtrostender Stähle
2. Auflage 2024

Herausgeber:

Informationsstelle Edelstahl Rostfrei
Sohnstraße 65
40237 Düsseldorf
Tel: +49 (0) 211 6707-835
info@edelstahl-rostfrei.de
www.edelstahl-rostfrei.de

Autor:

Dr.-Ing. Sebastian Heimann

Herausgeber und Autor danken den Herren Dr.-Ing. Andreas Burkert, Jens Lehmann und Thoralf Müller, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin, Thomas Kirchhartz, Outokumpu Nirosta GmbH, Krefeld sowie Ralf Schmidt und Julian Rauscher, Tobsteel GmbH, Öhringen für die kritische Durchsicht des Manuskripts und Hinweise zu seiner Ausgestaltung.

Die in dieser Broschüre enthaltenen Informationen vermitteln Orientierungshilfen. Gewährleistungsansprüche können hieraus nicht abgeleitet werden. Nachdrucke bzw. Veröffentlichungen im Internet, auch auszugsweise, sind nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers und mit deutlicher Quellenangabe gestattet.

Abbildungsnachweis:

Abb. 1, Abb. 2, Abb. 3, Abb. 5, Abb. 8: ISER
Abb. 4: Thomas Pauly
Abb. 6: BAM, Berlin
Abb. 7: Empa, Dübendorf (Schweiz)

Inhalt

1	Vorwort zur zweiten Auflage	3
2	Spinnennetzdiagramme mit sechs Werkstoffeigenschaften	4
2.1	Martensitische nichtrostende Stähle	7
2.2	Austenitische nichtrostende Stähle	8
2.3	Austenitisch-ferritische nichtrostende Stähle	12
2.4	Ferritische nichtrostende Stähle	13
2.5	Diagramme Festigkeit / Korrosionsbeständigkeit / Umformbarkeit	15
3	Werkstoffauswahl und Dauerhaftigkeit nach Eurocode 3	18
3.1	Auswahl einer Stahlsorte nach DIN EN 1993-1-4 Anhang A	20
3.1.1	Berechnung des CRF	22
3.1.2	Bestimmung der CRC und Auswahl der Stahlsorte	24
3.2	Schwimmhallenatmosphäre	25
3.3	Mechanische Verbindungselemente	26
3.3.1	Korrosionsbeständigkeitsklassen für Verbindungselemente	28
3.3.2	Mischverbindungen bei Verbindungselementen	28
4	Einflussfaktoren auf die Korrosionsbeständigkeit	29
4.1	Geschweißte oder thermisch geschnittene Bauteile	29
4.2	Fremdrost	29
4.3	Bimetallkorrosion	29
4.4	Flüssigmetallinduzierte Spannungsrisskorrosion	29
4.5	Abwaschen durch Regen	30
4.6	Schweißen höher-kohlenstoffhaltiger Sorten	30
4.7	Schwefellegierte Sorten – „Zerspanungsgüten“	30
4.8	Weitere allgemeine Hinweise	31
5	Literatur	32

1 Vorwort zur zweiten Auflage

Die Anzahl der nichtrostenden Stähle ist groß. Allein in der Norm EN 10088-1, dem europäischen Verzeichnis der nichtrostenden Stähle, sind die Zusammensetzungen aller in europäischen Normen aufgeführten über 180 Sorten spezifiziert.

Diese Vielzahl an nichtrostenden Stählen bringt eine große Menge an Eigenschaftskombinationen mit, durch die ein sehr breites Anwendungsgebiet erschlossen wird. Um die Auswahl einer passenden Sorte aus dieser Fülle mit den richtigen Eigenschaften für einen Einsatzzweck zu erleichtern, wurde im Jahr 2022 das Merkblatt 820 erarbeitet. 38 Sorten wurden mit Blick auf sechs ihrer Eigenschaften verglichen und benotet und mit diesen Noten in Spinnennetzdiagrammen dargestellt.

Edelstahl Rostfrei ist u.a. robust, hygienisch, korrosionsbeständig und wiederverwertbar. Die Kombination aus Korrosionsbeständigkeit und Haltbarkeit erhöht die Lebensdauer der Produkte. Diese Eigenschaften machen ihn zu einer idealen Wahl für eine Vielzahl anspruchsvoller Industrie- und Verbraucheranwendungen.

In dieser zweiten Ausgabe des Merkblatts wurde die Anzahl der Stahlsorten auf insgesamt 83 erhöht. Unter anderem sind martensitische sowie warmfeste und hitzebeständige nichtrostende Stähle neu hinzugekommen.

Grundlegend neu hinzugekommen sind in dieser Ausgabe die Erläuterungen zur Werkstoffauswahl und Dauerhaftigkeit nach Eurocode 3 (DIN EN 1993-1-4 Anhang A). Die Vorgehensweise zur Werkstoffauswahl nach dieser Norm gilt für tragende Bauteile im Bauwesen, ist aber auch allgemein als Orientierungshilfe für die Auswahl nichtrostender Stähle in Bezug auf Korrosionsbeanspruchungen geeignet.

Die in diesem Merkblatt aufgeführten Erläuterungen des Leitfadens zur Werkstoffauswahl nach Eurocode 3, Anhang A dienen in erster Linie dem Verständnis der Vorgehensweise. Fehler sind nicht auszuschließen. Daher sollten im konkreten Anwendungsfall immer die Normen als Grundlage verwendet werden.

2 Spinnennetzdiagramme mit sechs Werkstoffeigenschaften



Die Gebrauchs- und Verarbeitungseigenschaften der nichtrostenden Stähle werden sowohl direkt über die zugeführten Legierungselemente als auch indirekt durch den sich aus der jeweiligen Legierungszusammensetzung einstellenden Gefügebau bestimmt. Während reines Eisen bei Raumtemperatur nur kubisch-raumzentriert (Ferrit) vorliegt und der kubisch-flächenzentrierte Austenitkristall nur bei höheren Temperaturen vorkommt, können höher legierte Stähle und damit auch die nichtrostenden Stähle bei Raumtemperatur abhängig von der Legierungszusammensetzung und der Wärmebehandlung sowohl mit austenitischem als auch ferritischem Gefüge vorliegen sowie einer Mischung aus beiden. Durch eine gezielte Wärmebehandlung kann darüber hinaus noch ein tetragonal-verzerrtes kubisch-raumzentriertes Kristallgefüge eingestellt werden, das als Martensit bezeichnet wird.

Die nichtrostenden Stähle werden entsprechend dieser Gefügestände in

- ferritische (Cr),
- martensitische (Cr, C/Ni),
- austenitische (Cr, Ni, Mo, evtl. Mn, N) und
- austenitisch-ferritische (Cr, Ni, Mo, N)

nichtrostende Stähle eingeteilt.

In den Klammern sind die Hauptlegierungsbestandteile dieser vier Gruppen aufgeführt. Weiterführende Informationen sind in den ISER-Merkblättern 803 und 821 zu finden.

Den oben genannten vier Hauptgruppen der nichtrostenden Stähle können typische, kennzeichnende Werkstoffeigenschaften zugeordnet werden. So zeichnen sich z.B. die austenitischen Sorten durch ein besonders gutes Umformvermögen aus, während die austenitisch-ferritischen Stähle (Duplex-Stähle) höhere Festigkeiten erreichen. Durch gezielte Veränderung der Legierungszusammensetzungen können Werkstoffsorten erzeugt werden, die auch über die Grenzen der Hauptgruppen hinweg

vergleichbar ausgeprägte Eigenschaften besitzen. Das gilt meist aber nur für einzelne, ausgewählte Eigenschaften und nicht für mehrere gleichzeitig. Aus diesem Grund sollte ein Wechsel zu einer anderen Werkstoffsorte, um beispielsweise ein teures Legierungselement zu vermeiden, nicht ohne genaue Prüfung der Folgen für den bestehenden Anwendungsbereich vorgenommen werden. Denn meist geht es um eines der Hauptlegierungselemente (mit Ausnahme von Chrom), das verändert werden soll, und somit um einen möglichen Wechsel in eine andere Hauptgruppe der nichtrostenden Stähle.

Die individuellen Eigenschaften der Stahlsorten werden vielfach in „**Stärken**“ und „**Schwächen**“ eingeteilt. Diese Bewertung sollte aber immer nur mit Blick auf den Einsatzbereich vorgenommen werden und keinesfalls einer allgemeinen Beurteilung zu Grunde liegen. Die Ausprägung einer Eigenschaft kann in einem Anwendungsfall als besonders hilfreich gelten, während sie in einem anderen Fall den Einsatz der Sorte unmöglich macht. Beispielsweise ist für viele Anwendungen eine hohe Festigkeit wichtig, wohingegen das meistens damit einhergehende geringere Umformvermögen weniger von Bedeutung ist. Für andere Anwendungen wiederum kann die hohe Festigkeit eher von Nachteil sein, wenn großes Umformvermögen benötigt wird (hohe Umformkräfte, geringes Ziehvermögen).

Die **Substitution** einer Werkstoffsorte sollte **immer anwendungsbezogen** erfolgen und genauestens abgewogen werden. Eine selektive Betrachtung einzelner Eigenschaften einer als Ersatz angedachten Sorte könnte zu weitreichenden Problemen, Qualitätsverlusten und hohen Kosten führen.

Welche „**Schwächen**“ bringt ein Werkstoff für den Anwendungsfall mit, der wegen seiner, für den Anwendungsfall zwingend notwendigen „**Stärken**“ zur Auswahl steht? Inwieweit sind die verschiedenen Eigenschaften der Sorte für die jeweilige Anwendung von Bedeutung? Diese Fragen sollte man sich bei der Entscheidungsfindung stellen.

Die nachfolgenden Diagramme sollen eine Hilfestellung bei der Auswahl von nichtrostenden Stählen geben.

In den Diagrammen wird die Kerbschlagarbeit nicht aufgeführt. Da die austenitischen nichtrostenden Stähle auch bei sehr tiefen Temperaturen nicht sprödebruchgefährdet sind, können sie z.B. im Bauwesen bis – 40 °C ohne weiteren Nachweis eingesetzt werden. Ferritische nichtrostende Stähle tendieren dagegen schon bei deutlich höheren Temperaturen zum Sprödebruch. Im Baubereich muss daher für diese Gruppe mindestens eine Kerbschlagarbeit von 40 J mit ISO-V-Proben bei – 40 °C nachgewiesen werden. Der Nachweis muss gemäß den Angaben in der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z 30.3 6 (ISER Sonderdruck 862) geführt werden. Die austenitisch-ferritischen nichtrostenden Stähle liegen aufgrund ihrer Gefügestruktur mit ihrer Kerbschlagzähigkeit und der Lage der Übergangstemperatur zwischen den beiden vorgenannten Gruppen. Ein Nachweis, wie bei den Ferriten ist im Baubereich ebenfalls zu erbringen.

Aufgrund der Volatilität der Preise von Legierungselementen wird hier nicht weiter auf Kosten eingegangen.

In den „Spinnennetzdiagrammen“ sind die Werkstoffeigenschaften

- Korrosionsbeständigkeit,
- Festigkeit,
- Umformbarkeit,
- Schweißbarkeit,
- Wärmeausdehnungskoeffizient
- und Wärmeleitfähigkeit

für die gebräuchlichsten nichtrostenden Stähle mit einem einfachen Notensystem aufgeführt. Die Noten von eins bis fünf zeigen an, ob die jeweilige Eigenschaft im Vergleich der aufgeführten Stahlsorten eher hoch oder gering ausgeprägt ist. Eine Wertung der Eigenschaft sollen und können sie aber nicht darstellen, wie bereits weiter oben im Text mit dem Hinweis auf vermeintliche „Stärken“ und „Schwächen“ erläutert wurde.

Als Kennwert für die **Festigkeit** wurde die in den relevanten Normen geforderte Mindest-Dehngrenze $R_{p0,2}$ gewählt (s.a. S. 14, „Legende zu Abb. 1 bis Abb. 3“).

Für die **Umformbarkeit** wurde die in den relevanten Normen geforderte Mindest-Bruchdehnung A als Kennwert herangezogen (s.a. S. 14, „Legende zu Abb. 1 bis Abb. 3“).

Eine generelle Quantifizierung der **Korrosionsbeständigkeit** von nichtrostenden Stählen gestaltet sich schwierig. Abtragende Flächenkorrosion, wie sie bei unlegierten Baustählen ohne Korrosionsschutz häufig beobachtet werden kann, ist bei nichtrostenden Stählen nur in bestimmten Säuren und starken Laugen möglich. Im Wesentlichen tritt örtliche Korrosion auf (z.B. Lochkorrosion, Spannungsrisskorrosion, Spaltkorrosion, Interkristalline Korrosion), für die es jedoch keine alles umfassende Kennzahl gibt. Um dennoch eine quantitative Basis für den Vergleich der nichtrostenden Stahlsorten zu haben, wurde die Wirksumme (W) herangezogen (englisch „Pitting Resistance Equivalent“ PRE), die als Maß für die Beständigkeit gegen Loch- und Spaltkorrosion betrachtet wird. Bei der Wirksumme handelt es sich allerdings um eine empirisch gefundene Regel und keinesfalls um eine Gesetzmäßigkeit mit definierten Randbedingungen. Die Berechnung der Wirksumme erfolgte nach der folgenden Formel und gilt für den atmosphärischen Bereich bei nicht erhöhter Temperatur:

$$PRE = \%Cr + 3,3 \times \%Mo + (X) \times \%N$$

Dabei wurden für %Cr, %Mo und %N jeweils die arithmetischen Mittelwerte der in DIN EN 10088-1:2024-04 und SEW 390:1991-11 angegebenen Grenzen für die Legierungselemente Chrom (Cr), Molybdän (Mo) und Stickstoff (N) eingesetzt.

Der Stickstofffaktor X wurde für Sorten mit weniger als 3 % Mo gleich Null gesetzt, für alle anderen Sorten mit 3 % Mo oder mehr gleich 30 und für Duplex-Stähle wurde er mit 16 angesetzt.

Edelstahl Rostfrei ist häufig das kostengünstigere Material. Mehrere Lebenszyklusstudien zeigen, dass die Gesamtkosten von rostfreiem Stahl bei vielen Anwendungen niedriger sind als die von konkurrierenden Werkstoffen; in bestimmten Fällen können die Kosteneinsparungen aufgrund der geringeren Reparatur- und Wartungskosten zwischen 30 und 40 % liegen. Erneuerbare Energielösungen wie Solarenergie, Biokraftstoffe und Windenergie erfordern Komponenten und Materialien, die nachhaltig beschafft werden können und niedrige Lebenszykluskosten aufweisen. Nichtrostender Stahl ist in diesen Bereichen eine optimale Wahl.

Die Noten für die Korrosionsbeständigkeit der Sorten 1.4305 und 1.4598 wurden jeweils um eins reduziert, weil sich das Hinzulegieren von Schwefel negativ auf die Korrosionsbeständigkeit auswirkt (s.a. Abschnitt 4.7). Da die Wirksumme dies nicht berücksichtigt, würde für diese beiden Werkstoffe eine im Vergleich mit den anderen Sorten falsche Einstufung der Korrosionsbeständigkeit erfolgen. Dies ist auch der Grund, warum sie mit ihren rechnerischen Wirksummen nicht in den Diagrammen „Festigkeit über Korrosionsbeständigkeit“ und „Umformbarkeit über Korrosionsbeständigkeit“ aufgeführt werden (Abb. 1 und Abb. 2).

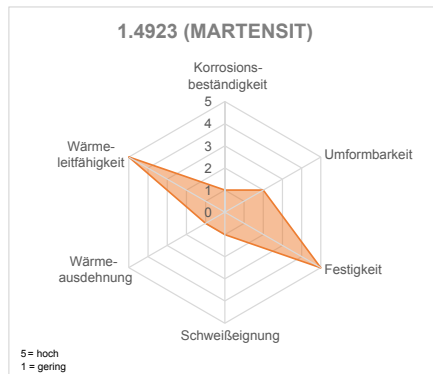
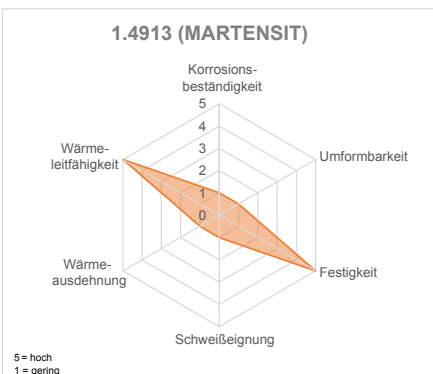
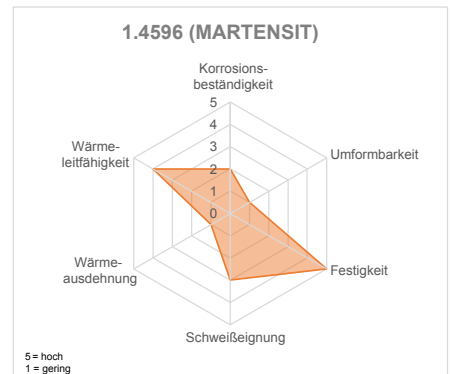
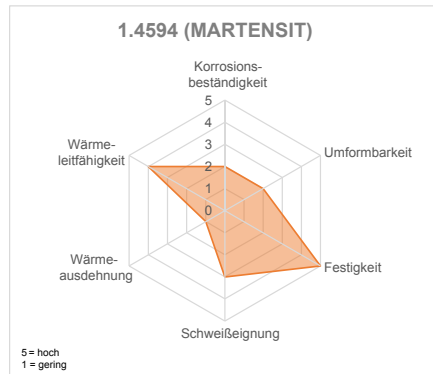
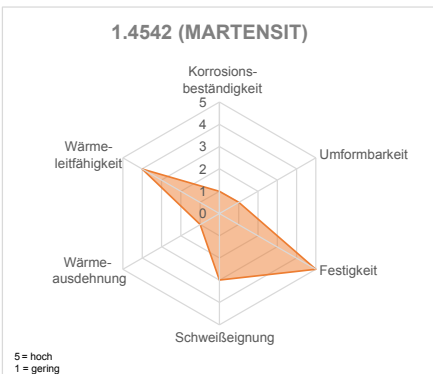
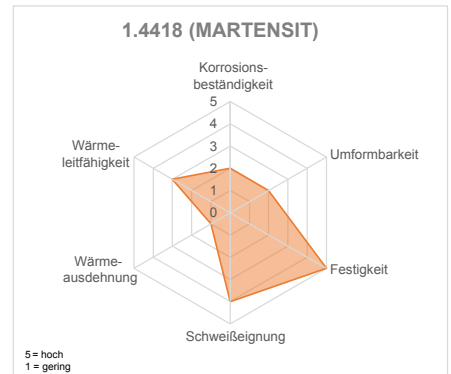
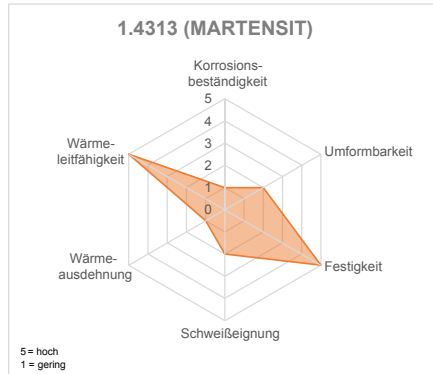
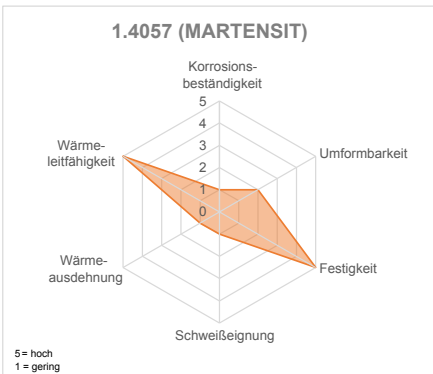
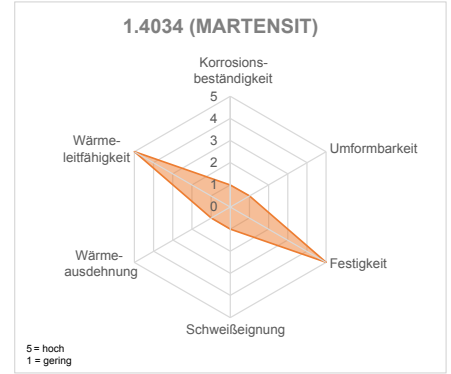
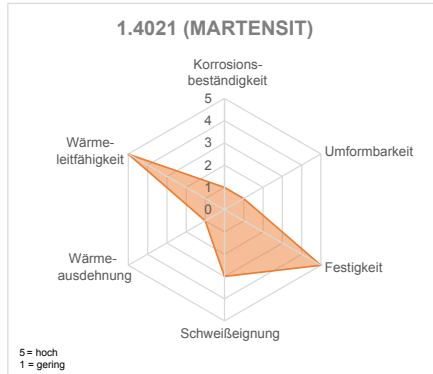
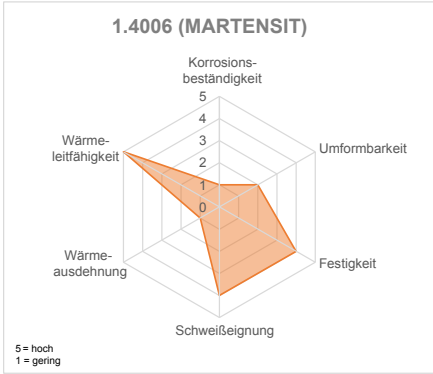
Für die Eigenschaften **Wärmeausdehnung** (mittlerer Wärmeausdehnungskoeffizient zwischen 20°C und 100°C bzw. für die hitzebeständigen Sorten zwischen 20°C und 200°C) und **Wärmeleitfähigkeit** wurden die entsprechenden Kennwerte aus der DIN EN 10088 1:2024-04 und SEW 390:1991-11 verwendet.

Die in diesem Merkblatt aufgeführten Sorten liegen mit ihren **Wärmeausdehnungskoeffizienten** zwischen $10 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ und $17 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Die Werte der **Wärmeleitfähigkeit** (bei 20°C) liegen bei ihnen zwischen $8,6 \text{ W/(m K)}$ und 30 W/(m K) .

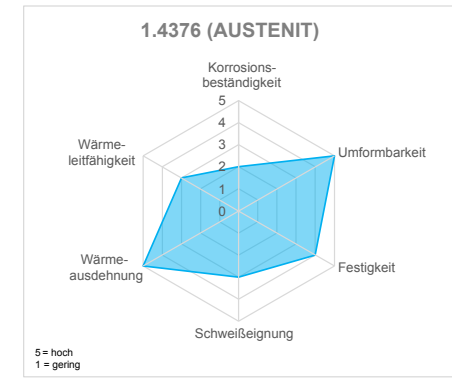
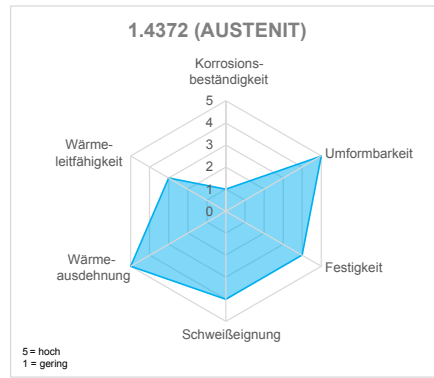
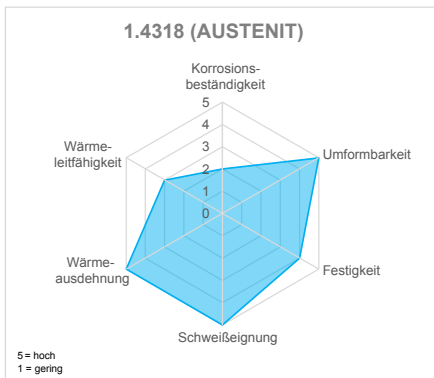
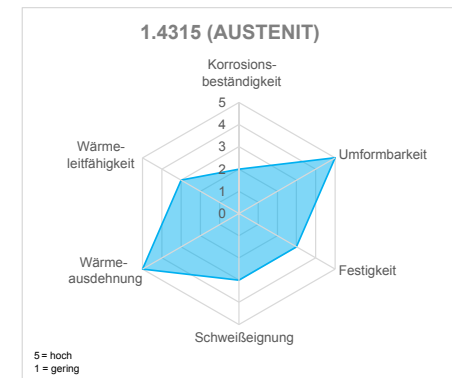
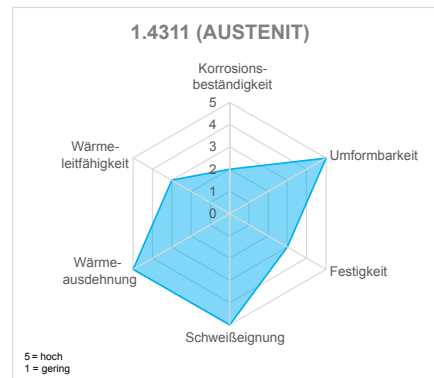
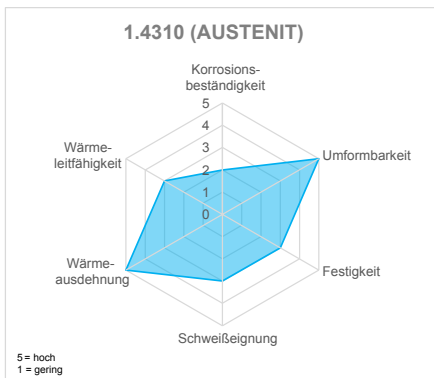
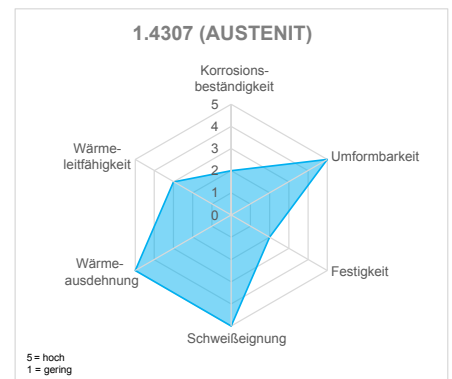
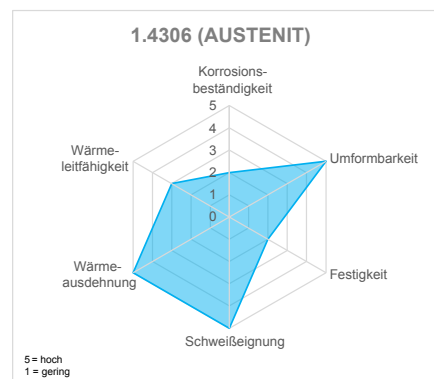
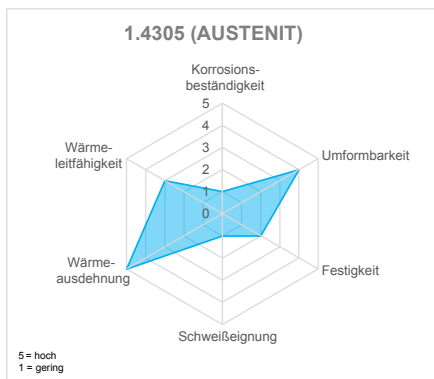
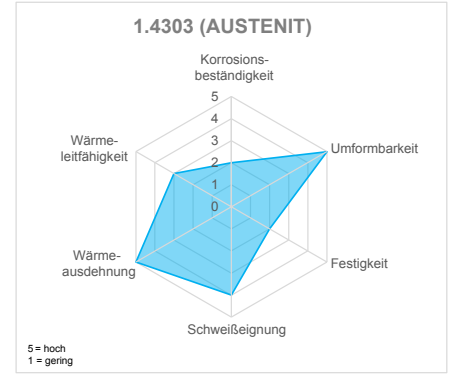
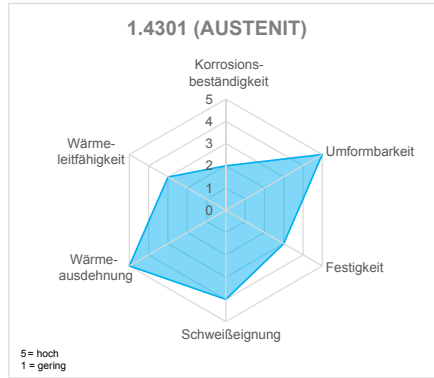
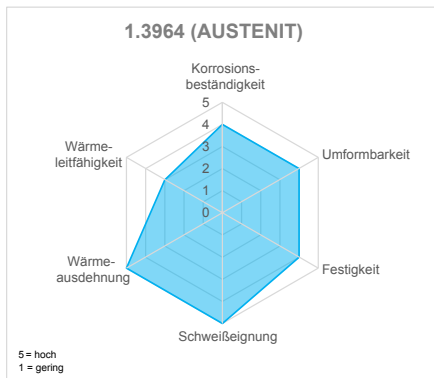
Eine hohe **Schweißbeignung** bedeutet, dass keinerlei Einschränkungen zu beachten sind, und eine sehr geringe Schweißbeignung, dass vom Schweißen abgeraten wird. Noten dazwischen bedeuten, dass mehr oder weniger Auflagen beachtet werden müssen.

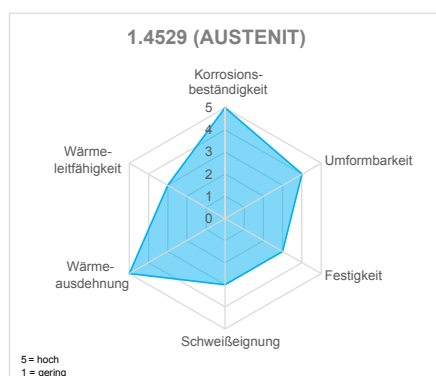
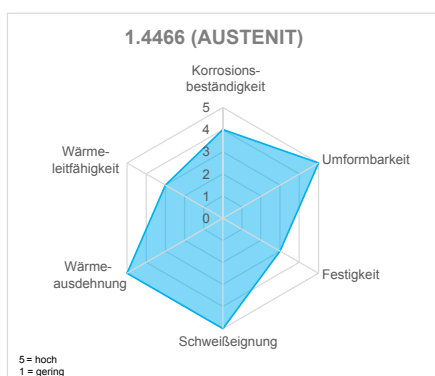
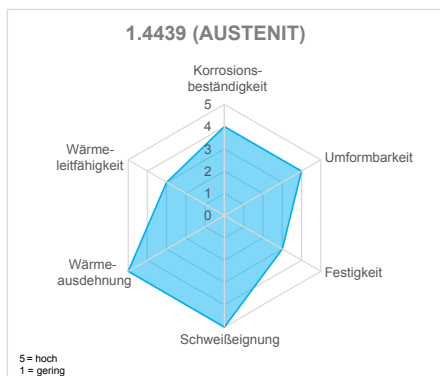
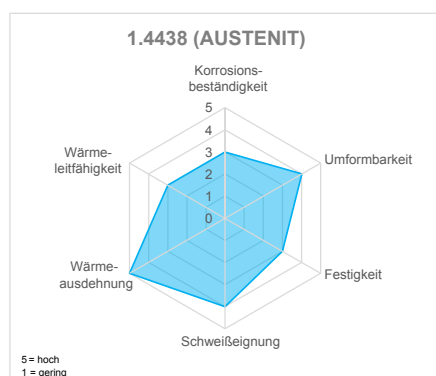
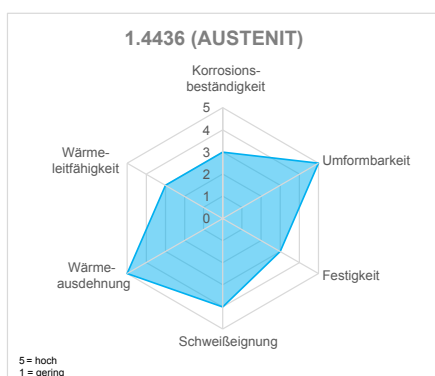
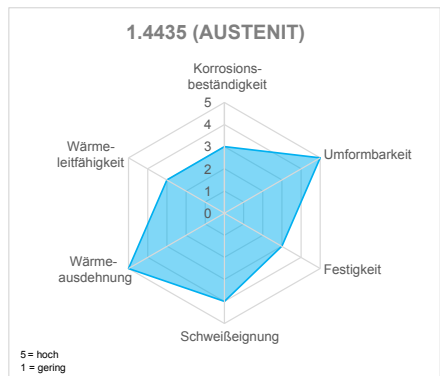
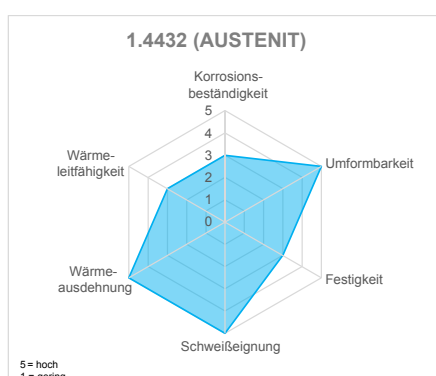
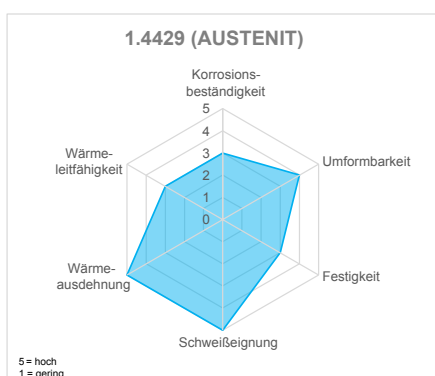
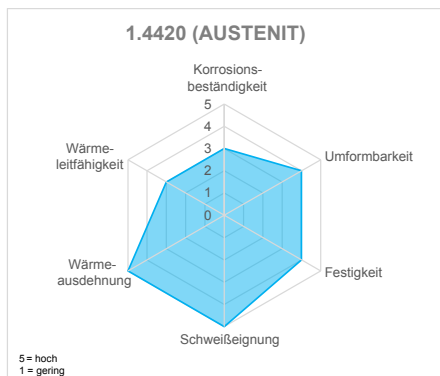
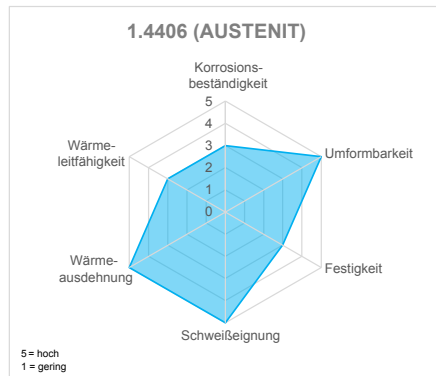
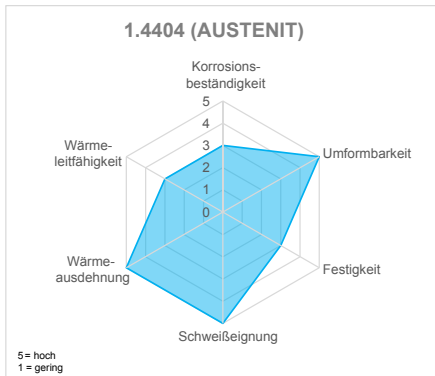
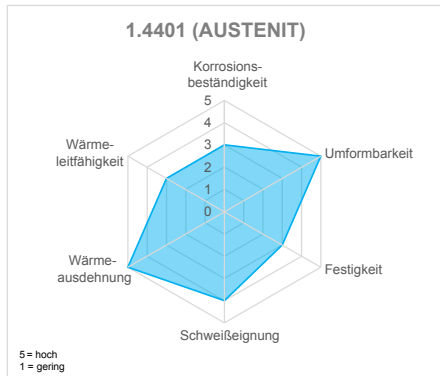
In den abschließend aufgeführten Abbildungen in Abschnitt 2.5 sind für gebräuchliche Sorten die Korrosionsbeständigkeit, die Festigkeit und die Umformbarkeit auf unterschiedliche Weise zueinander aufgetragen.

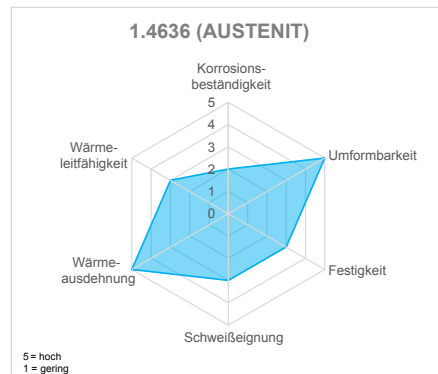
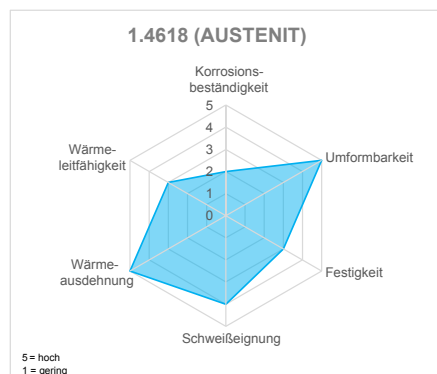
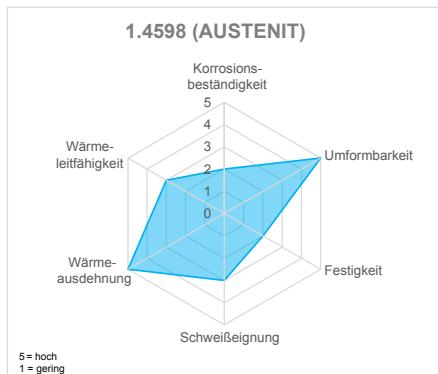
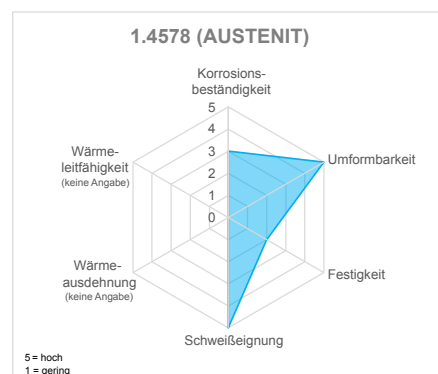
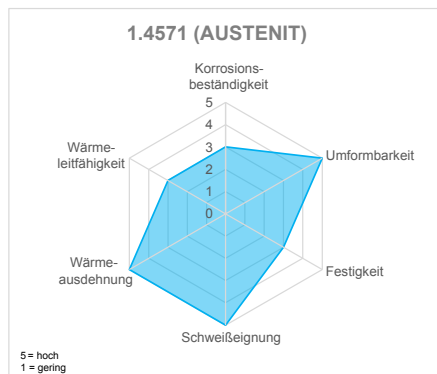
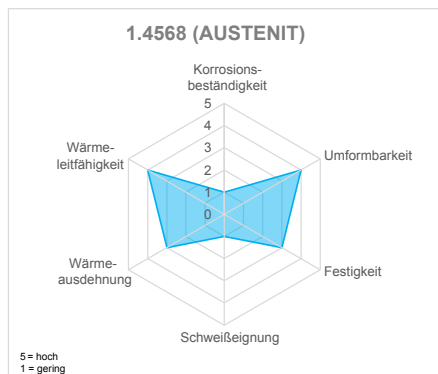
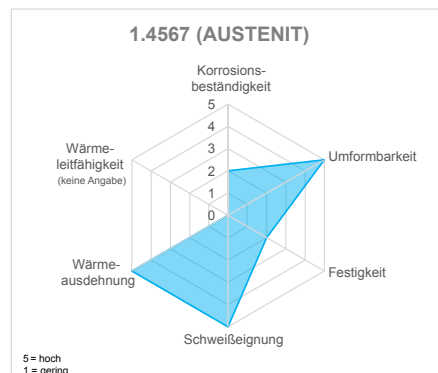
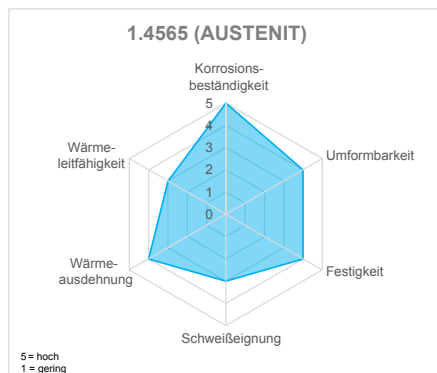
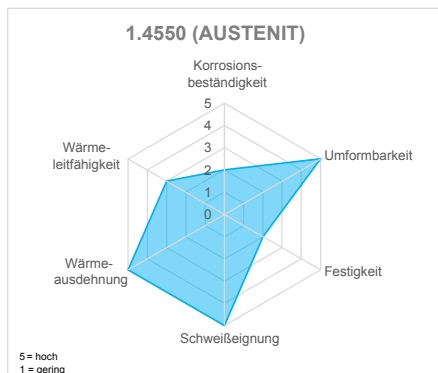
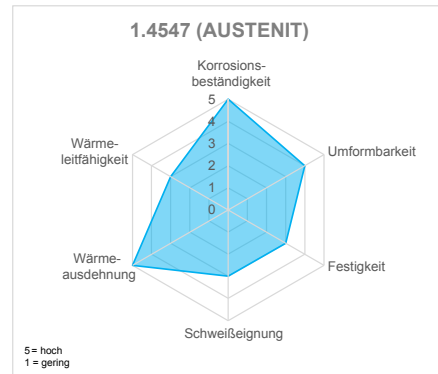
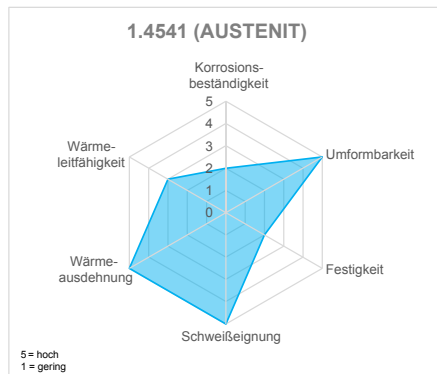
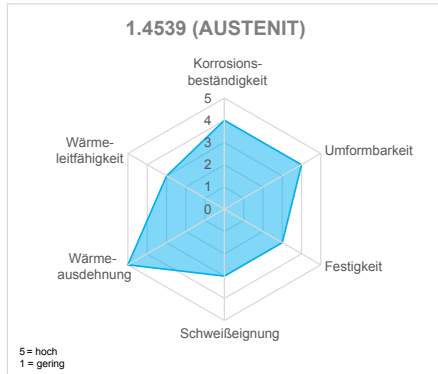
2.1 Martensitische nichtrostende Stähle

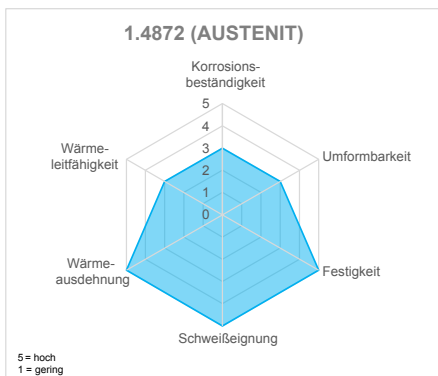
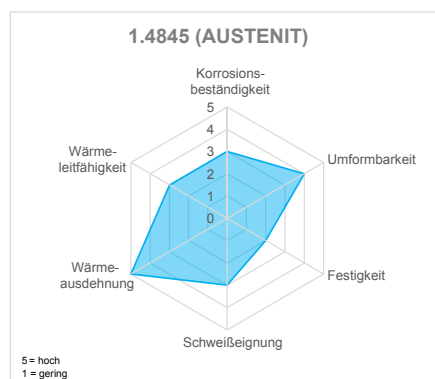
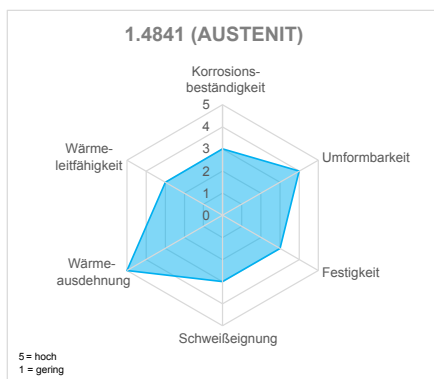
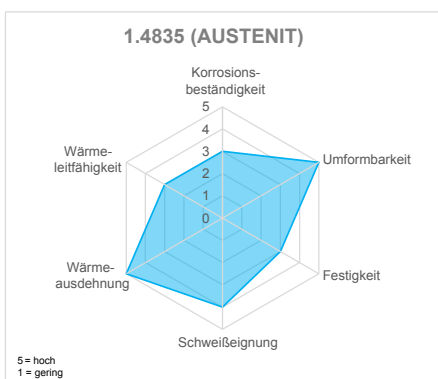
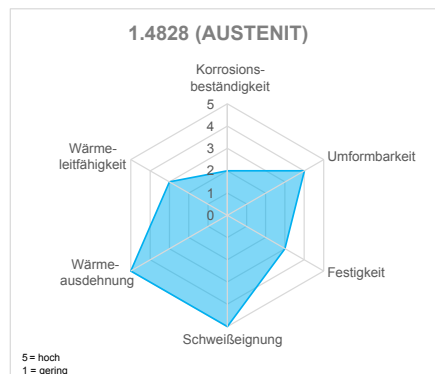
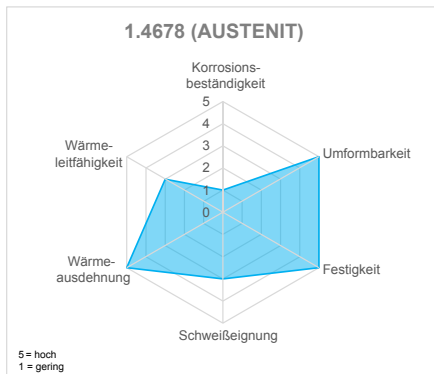
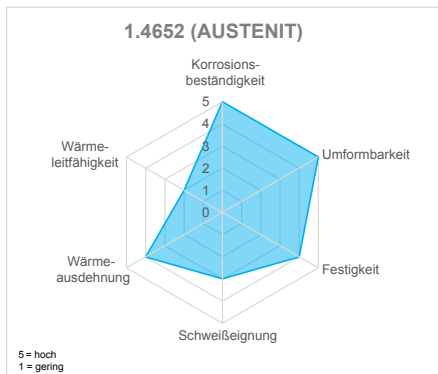


2.2 Austenitische nichtrostende Stähle

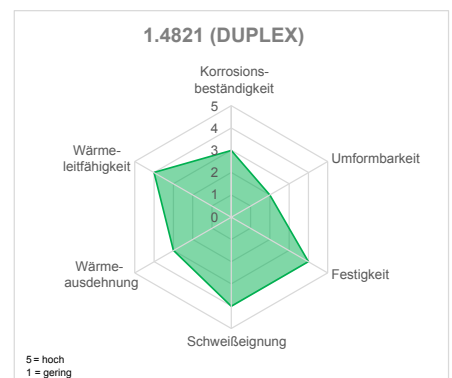
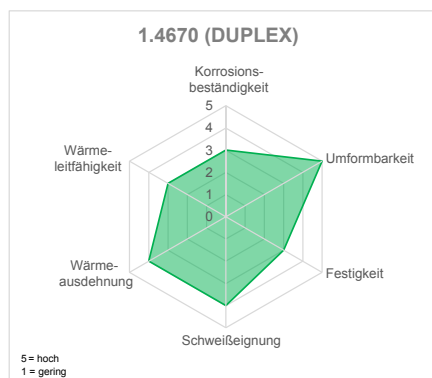
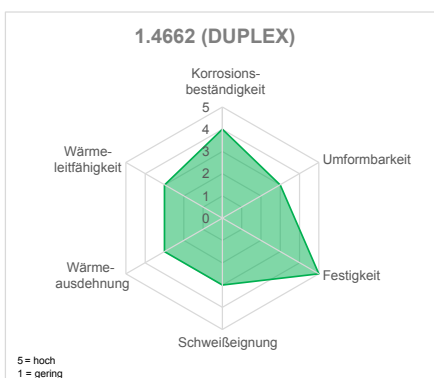
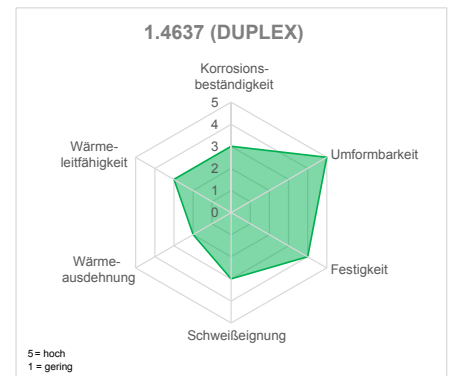
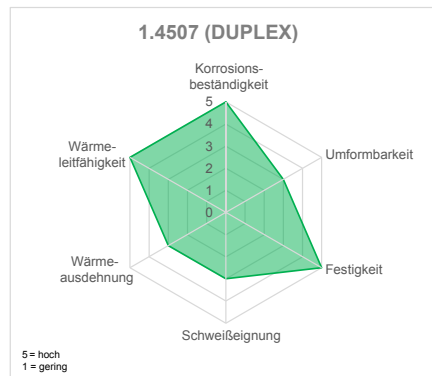
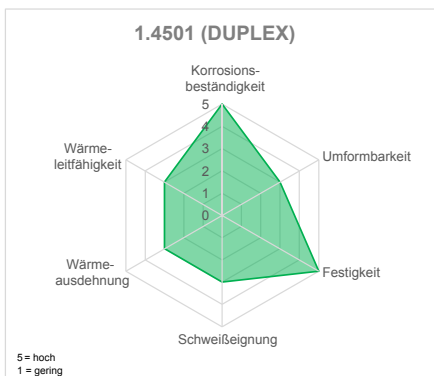
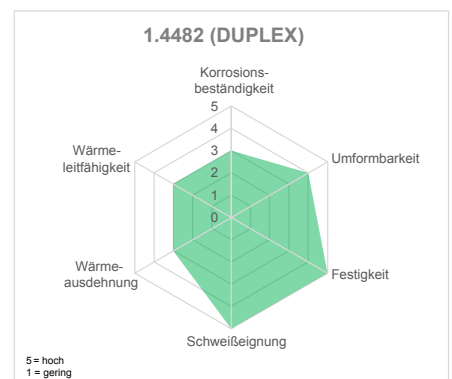
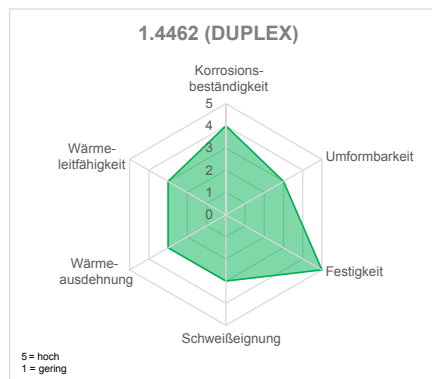
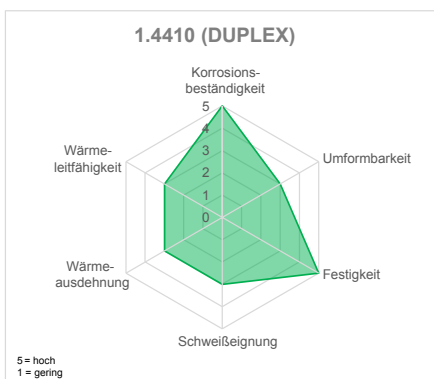
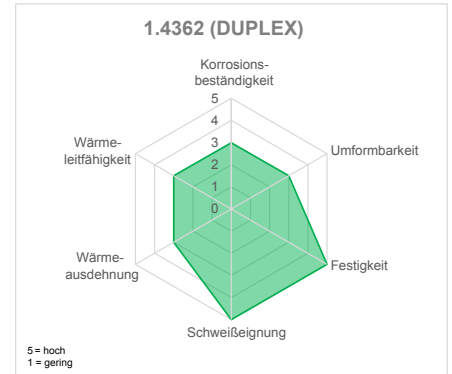
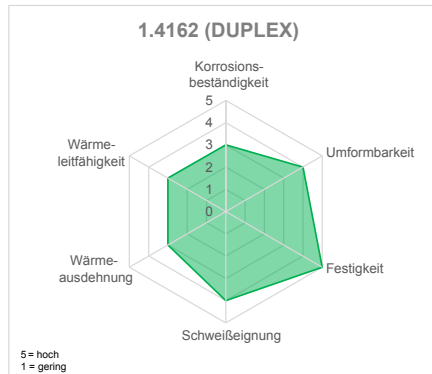
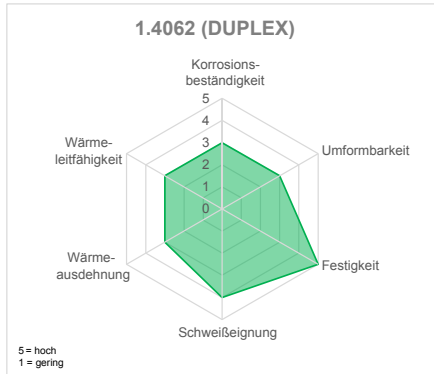




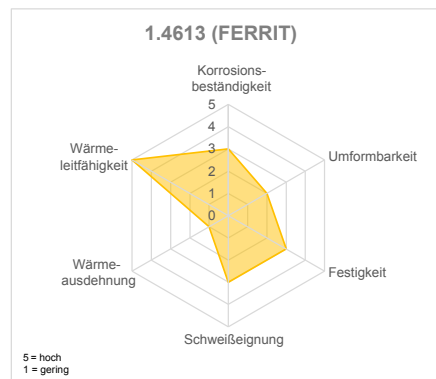
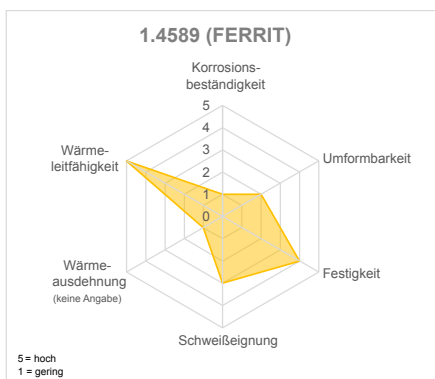
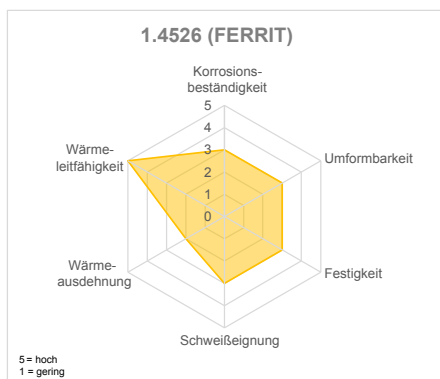
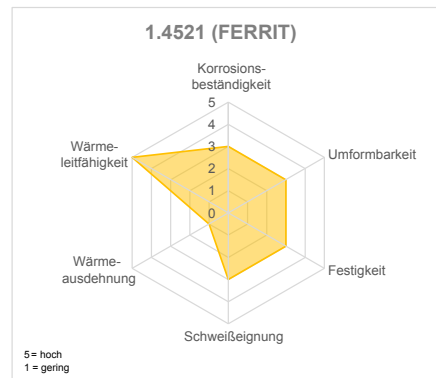
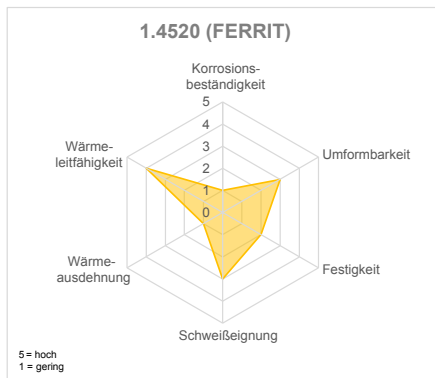
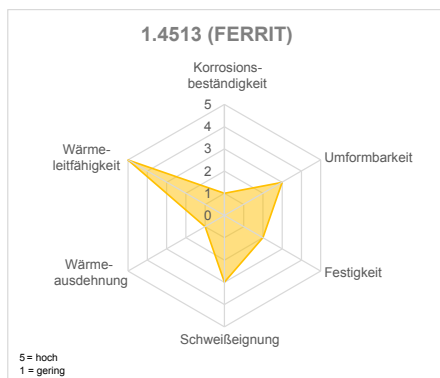
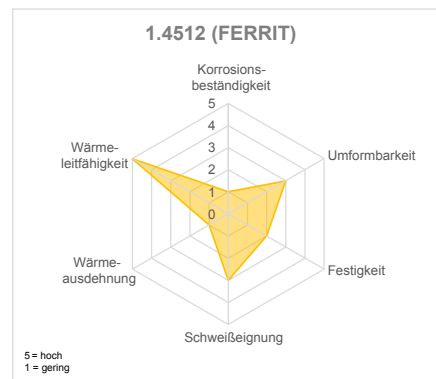
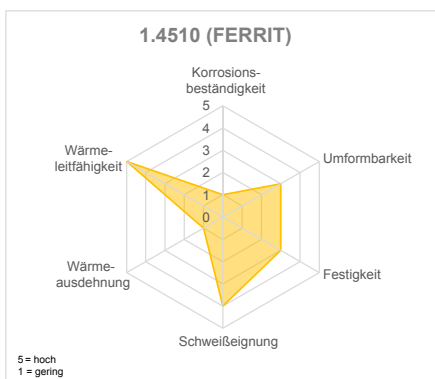
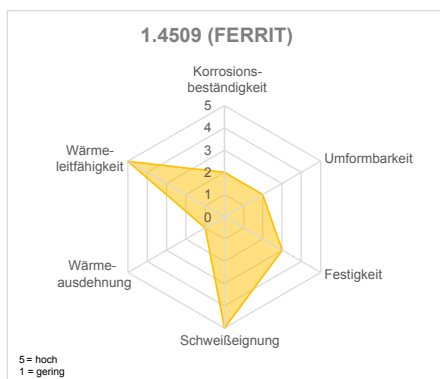
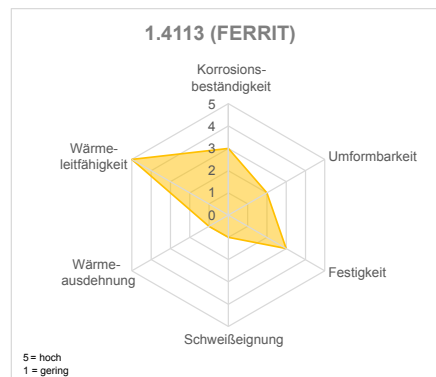
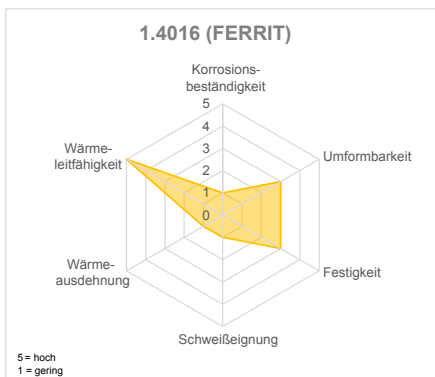
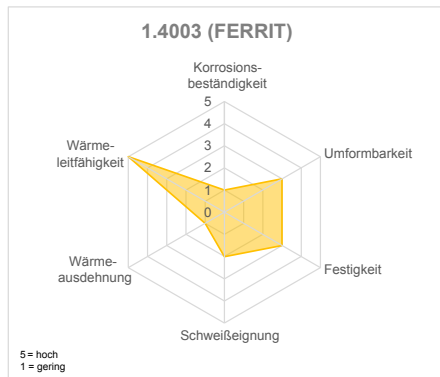


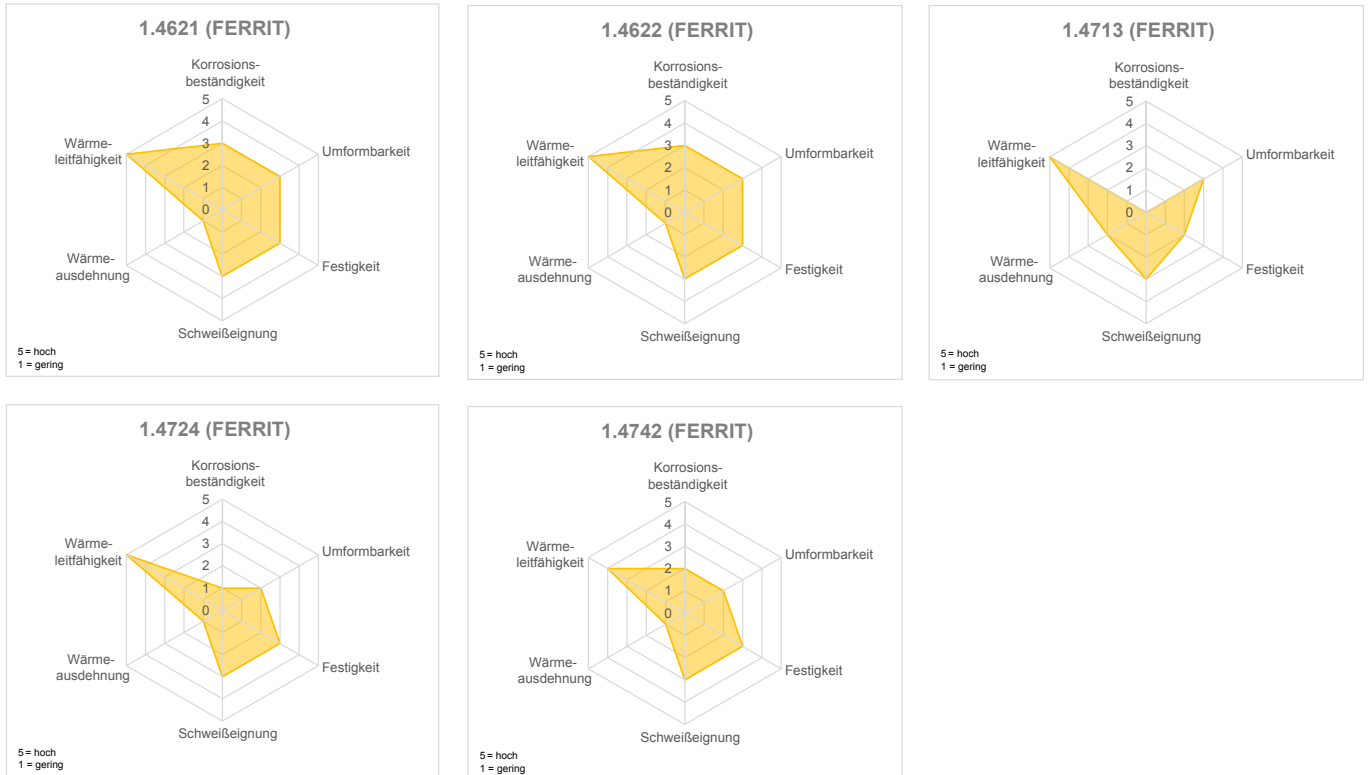


2.3 Austenitisch-ferritische nichtrostende Stähle



2.4 Ferritische nichtrostende Stähle





Legende zu Abb. 1 bis Abb. 3

Mindest-Dehngrenze $R_{p0,2}$ und Mindest-Bruchdehnung A aus EN 10088-2:2024-09 (Zustand C, kaltgewalztes Band, lösungsgeglüht)

Ausnahmen:

- 1.4305, 1.4466 (Zustand P, warmgewalztes Blech, lösungsgeglüht)
- 1.4006, 1.4021 und 1.4313 (Zustand P, warmgewalztes Blech, vergütet (+QT))
- 1.4034, 1.4057, 1.4418, 1.4567, 1.4578, 1.4594, 1.4596, 1.4598, 1.4670 (DIN EN 10088-3:2024-04)
- 1.4622 (DIN EN 10028-7:2016-10)
- 1.4713, 1.4724, 1.4742, 1.4821, 1.4828, 1.4835, 1.4841, 1.4845, 1.4872 (DIN EN 10095:2018-12)
- 1.4913, 1.4923 (DIN EN 10269:2014-02)
- 1.3964 (SEW 390:1991-11)
- 1.4568, 1.4636 (Herstellerangaben)

Die Wirksumme PRE der jeweiligen Sorte wurde aus dem arithmetischen Mittel der in DIN EN 10088-1:2024-04 angegebenen Grenzen für die Legierungselemente berechnet.

$PRE = \%Cr + 3,3 \times \%Mo + (X) \times \%N$ (Stickstofffaktor $(X) = 0$ für Sorten mit weniger als 3 % Mo, Stickstofffaktor $(X) = 30$ für Sorten mit 3 % Mo oder mehr, Stickstofffaktor $(X) = 16$ für Duplex Stähle) |

Abb. 3: Angabe [XY] = Wirksumme PRE der jeweiligen Sorte

2.5 Diagramme

Festigkeit über Korrosionsbeständigkeit

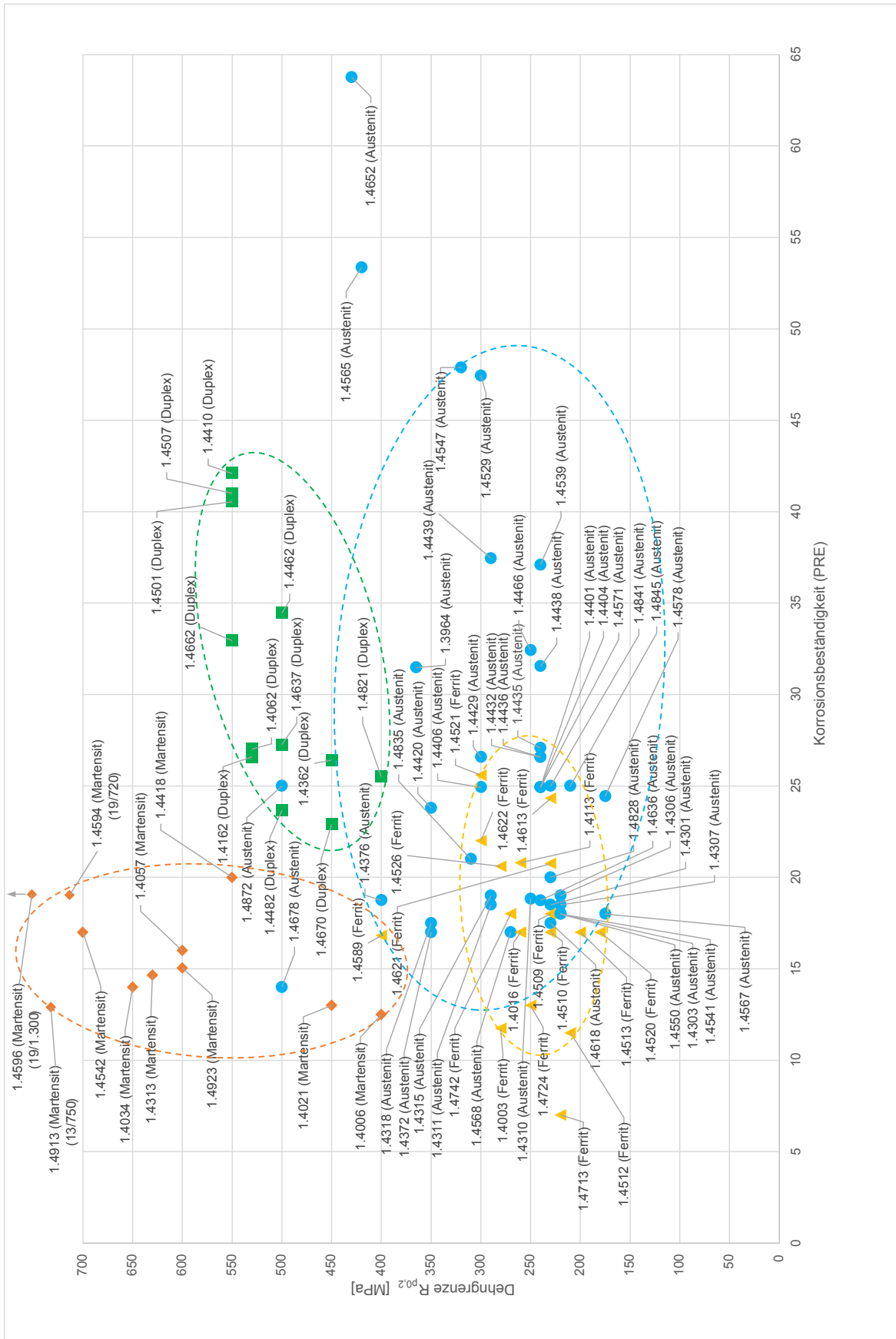


Abb. 1: Festigkeit über Korrosionsbeständigkeit (weitere Infos siehe Infokasten auf Seite 14)

Umformbarkeit über Korrosionsbeständigkeit

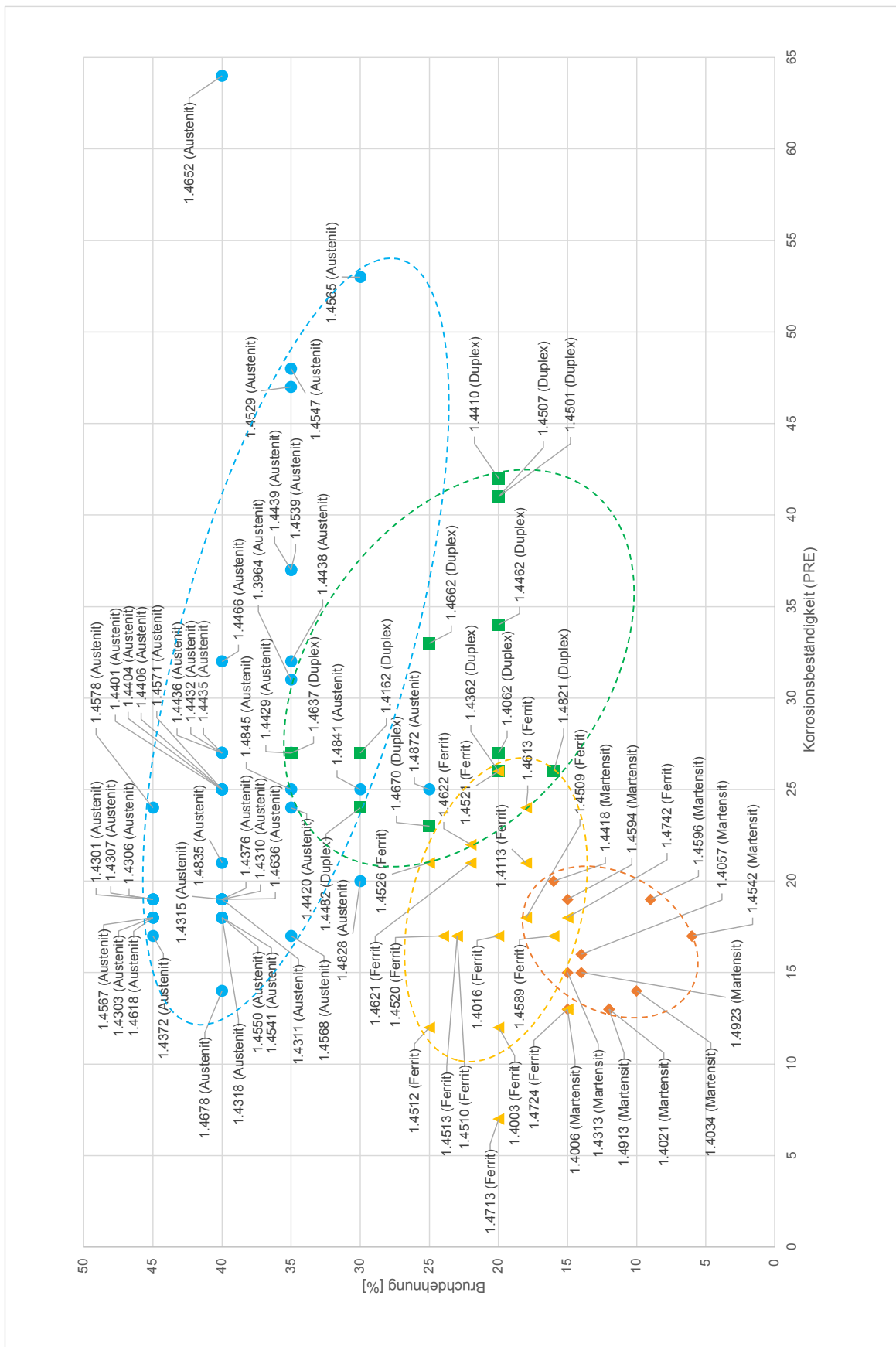


Abb. 2: Umformbarkeit über Korrosionsbeständigkeit (weitere Infos siehe Infokasten auf Seite 14)

Festigkeit über Umformbarkeit

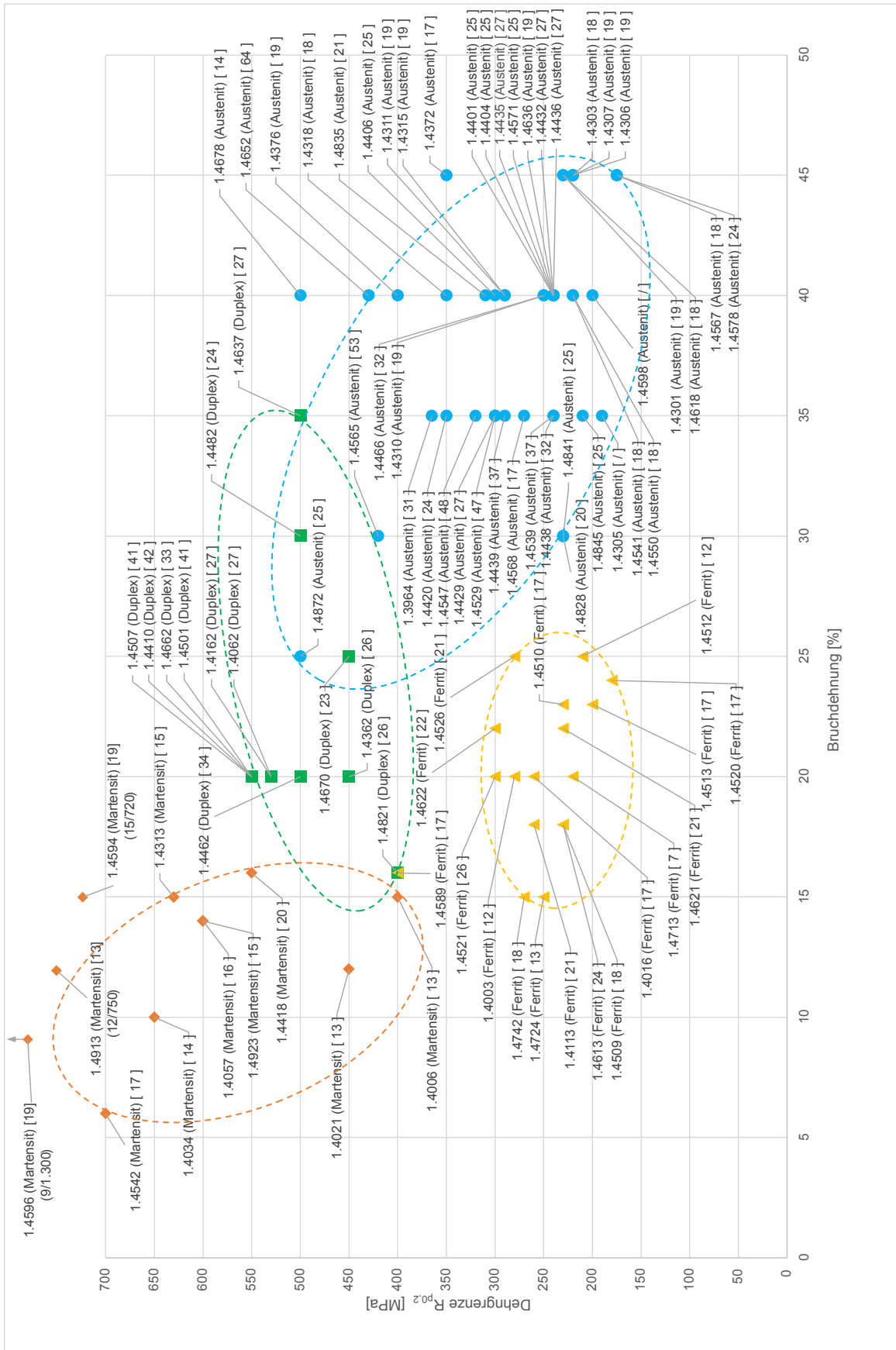


Abb. 3: Festigkeit über Umformbarkeit (weitere Infos siehe Infokasten auf Seite 14)

3 Werkstoffauswahl und Dauerhaftigkeit nach Eurocode 3

In unserem Alltag treffen wir auf zahlreiche Anwendungen aus Edelstahl Rostfrei, die in den allermeisten Fällen und trotz fortwährender Nutzung immer noch hervorragend aussehen und keine Anzeichen von Korrosionsschäden aufweisen, manche sogar nach über 90 Jahren (Abb. 4).

Leider gibt es aber auch immer wieder Fälle, bei denen bereits nach kurzer Einsatzzeit Korrosion auftritt. In der Regel liegt die Ursache für Schäden darin, dass bei der Werkstoffauswahl grundlegende Randbedingungen nicht beachtet wurden oder in der Prozesskette der Herstellung und Verarbeitung etwas falsch gelaufen ist.

Der Hauptvorteil nichtrostender Stähle gegenüber einfachen Baustählen ist ihre gute Korrosionsbeständigkeit, die zusätzliche Korrosionsschutzmaßnahmen überflüssig macht. Sie muss jedoch als Systemeigenschaft und nicht als reine Werkstoffeigenschaft betrachtet werden und ist immer ein Zusammenspiel von Konstruktion, Medium und Werkstoff (Abb. 5). Bei der Auswahl eines Werkstoffs muss also das Gesamtsystem mit all seinen Randbedingungen betrachtet werden.

So kann beispielsweise eine nichtrostende Stahlegierung bei spaltfreier Konstruktion in einem Medium beständig sein, während sie im gleichen Medium bei nichtspaltfreier Konstruktion korrodiert.

Auch nichtrostende Stähle können rosten. Ein „echtes nichtrostend“ gibt es nicht. Während Flächenkorrosion bei nichtrostenden Stählen im Bauwesen keine Rolle spielt, können verschiedene örtliche Korrosionserscheinungen das optische Erscheinungsbild oder die Tragfähigkeit beeinträchtigen. Informationen hierzu sind u.a. in [1] und [2] zu finden.

Einen Leitfaden für die Auswahl geeigneter nichtrostender Stähle für **tragende Bauteile** im Stahlbau enthält die Norm DIN EN 1993-1-4 (Eurocode 3) in ihrem Anhang A [3]. Mit seiner Hilfe kann ein geeigneter nichtrostender Edelstahl mit Bezug auf die Korrosionsbeständigkeit ausgewählt werden. Dadurch wird die Dauerhaftigkeit über viele Jahrzehnte ohne zusätzliche Korrosionsschutzmaßnahmen oder regelmäßige Überprüfung sichergestellt. Werden die Regeln nicht eingehalten, kann es dagegen innerhalb weniger Jahre zu einem frühzeitigen Versagen von Bauteilen kommen (Abb. 6). Konstruktive Gesichtspunkte werden im Leitfaden in Anhang A der Norm nicht berücksichtigt. Hinweise hierzu sind in Abschnitt 4 dieses Merkblatts zu finden.

Im Rahmen der Überarbeitung des „Eurocode im Stahlbau“ wurde auch die DIN EN 1993-1-4 revidiert und liegt aktuell als Norm-Entwurf FprEN 1993-1-4:2024 [4] vor. Als deutschsprachiger DIN-Norm-Entwurf ist er bislang in der Fassung prEN 1993-1-4:2023 [5] erhältlich.

Im Folgenden werden bereits die Neuerungen aus der FprEN 1993-1-4:2024 berücksichtigt. Wichtig ist dabei zu beachten, dass es sich bei der prEN um einen Entwurf handelt und bis zur Veröffentlichung der endgültigen Fassung noch Änderungen eingearbeitet werden können. Umfangreiche Erläuterungen zu den Neuerungen in prEN 1993-1-4:2022 sind in [6] zu finden.

Abb. 4:

Chrysler Gebäude, New York (links; erste großmaßstäbliche Anwendung nichtrostenden Stahls in der Architektur; 1930 fertiggestellt; bis heute keine Korrosionsschäden; zweimal gereinigt, um den Glanz wieder hervorzubringen) und Teil des Socony Mobil Gebäudes, New York (rechts; 1956 fertiggestellt; verfügte zu dem Zeitpunkt über die weltgrößte Edelstahlfassade; bis heute keine Korrosionsschäden; einmal gereinigt)



Als **tragende Bauteile** gelten Bauteile, für die ein statischer Nachweis gefordert wird oder für die eine Lastenabnahme existiert. Tragende Bauteile unterliegen einer bauaufsichtlichen Zulassung. [7]

Die Vorgehensweise nach DIN EN 1993-1-4 Anhang A gilt für tragende Bauteile im Stahlbau, die den Regeln des Eurocode 3 „Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten“ (EC3) unterliegen. Sie kann aber auch für andere Bauteile, die nicht dem EC3 unterliegen, sehr gut als Orientierung für die Auswahl geeigneter nichtrostender Stähle in Bezug auf Korrosionsbeanspruchungen dienen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass für solche Bauteile auch andere, über die in Tabelle 4 hinausgehende Sorten möglich und üblich sind. [8], [9]



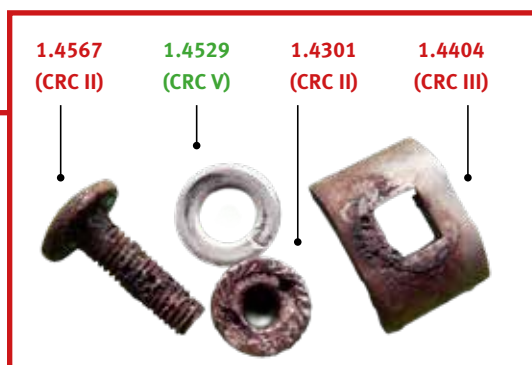
Abb. 5:
Korrosionssystem

Abb. 6:

Verbindungsmittel für Beleuchtungs- und Kabeltragsysteme in einem Straßentunnel mit starkem Korrosionsangriff nach acht Jahren Einsatzzeit



Edelstahl Rostfrei ist ein handelsüblicher Begriff für die Gruppe der nichtrostenden Stähle, auch rost-, säure- und hitzebeständige Stähle (RSH-Stähle) genannt. Diese sind mit ihren Eigenschaften in den ISER-Merkblättern 821 [1] und 987 [10] beschrieben und u.a. in den Normen DIN EN 10088-1 bis -5 sowie in DIN EN 10095, DIN EN 10296-2, DIN EN 10297-2, DIN EN ISO 3506-1 und -2 geregelt ([9], [11] bis [19]).



CRC II: Loch- und Spaltkorrosion, erhebliche Querschnittsverluste

CRC III: Loch- und Spaltkorrosion

CRC V: korrosionsfrei

Keine Bimetallkorrosion!

3.1 Auswahl einer Stahlsorte nach DIN EN 1993-1-4, Anhang A

Die in diesem Merkblatt aufgeführten Erläuterungen des Leitfadens zur Werkstoffauswahl nach Eurocode 3, Anhang A dienen in erster Linie dem Verständnis der Vorgehensweise. Fehler sind nicht auszuschließen. Daher sollte im konkreten Anwendungsfall immer die Norm als Grundlage verwendet werden.

Die Auswahl einer Stahlsorte nach DIN EN 1993-1-4 erfolgt in drei Schritten, wobei vorab einige grundlegende Randbedingungen zu beachten sind (s. Infokasten „Grundlegende Randbedingungen und Definitionen“).

Achtung: Für Konstruktionen, die in Schwimmhallenatmosphären zum Einsatz kommen, ist das Verfahren nicht anzuwenden. In diesem Fall bitte Abschnitt 3.2 beachten.

Für alle anderen tragenden Bauteile ist folgendermaßen ist vorzugehen:

1. Schritt: Berechnung des Korrosionsbeständigkeitsfaktors CRF (Corrosion Resistance Factor)
2. Schritt: Bestimmung der Korrosionsbeständigkeitsklasse CRC (Corrosion Resistance Class) anhand des berechneten CRF
3. Schritt: Auswahl einer Edelstahlsorte unter Berücksichtigung der ermittelten CRC

Grundlegende Randbedingungen und Definitionen:

Auf die Verfügbarkeit von Sorten oder Produkten, auf Anschluss- oder Verbindungsverfahren sowie auf Anforderungen an die Oberflächen¹ wird nicht eingegangen.

- Die Einsatzumgebung liegt in der Nähe des neutralen pH-Wert-Bereichs (pH 4 bis pH 10)^{2,3}.
- Die Bauteile sind nicht direkt oder nur teilweise einem chemisch-technologischen Verfahren oder einem chemischen Prozess ausgesetzt.
- Die Bauteile sind nicht ständig oder häufig in Meerwasser eingetaucht.
- Die Bauteile sind frei von Anlauffarben, Fremdrost erzeugenden Partikeln usw.
- Eine Anwendung des Verfahrens für Umgebungen in Regionen außerhalb Europas kann mit zusätzlichen Unsicherheiten behaftet sein.
- Als Innenraum gilt ein Bereich, der sich innerhalb geschlossener Türen befindet, oder der entweder belüftet oder beheizt wird. Alle anderen Bereiche gelten als Außenbereich. Dabei gelten Parkhäuser, Verladerrampen oder andere Bauwerke mit großen Öffnungen ebenfalls als Außenbereich.
- Nur bei Bauteilen, die dem Außenbereich ausgesetzt sind, ist dieses Verfahren anzuwenden. Für Innenräume gilt CRF = 1

Wichtig: Hallenbäder sind Sonderfälle von Innenräumen (s. Abschnitt 3.2).

¹ Die Beschaffenheit von Oberflächen kann einen entscheidenden Einfluss auf die Dauerhaftigkeit haben (s.a. [20]). Sind optische Anforderungen für ein Bauteil wichtig, darf eine geeignete Oberfläche in Übereinstimmung mit EN 10088-4 oder EN 10088-5 festgelegt werden.








² Beton, Mauerwerk und Holz werden in der DIN EN 1993-1-4 nicht behandelt, daher betrifft diese pH-Wert-Einschränkung diese Einsatzbereiche mit höheren pH-Werten nicht. Nichtrostende Stähle sind für den Einsatzbereich oberhalb eines pH-Werts von 10 aber durchaus geeignet.

Das konnte durch langjährige Erfahrungen und umfangreiche Untersuchungen belegt werden. Die abZ/abG Z-30.3-6 berücksichtigt dies für Bewehrungen und Verankerungen [7]. Leitlinien zur Auswahl nichtrostender Edelstähle für Befestigungen in Beton oder Mauerwerk sind in DIN EN 1992-1-1 [21] und DIN EN 1996-1-1 [22] zu finden (in Verbindung mit dem jeweiligen Nationalen Anhang).

³ s.a. Infokasten „Einfluss des pH-Werts auf die Werkstoffauswahl im Bauwesen“

Einfluss des pH-Wertes auf die Werkstoffauswahl im Bauwesen

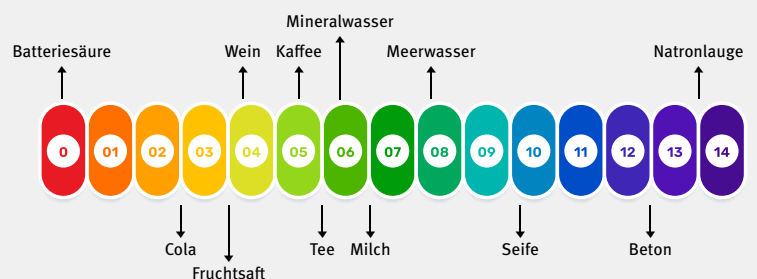
Für die Anwendbarkeit des Verfahrens zur Werkstoffauswahl wird im EC 3 bzgl. der Einsatzumgebung ein pH-Wertbereich von 4 bis 10 vorausgesetzt. Diese Einschränkung führt in der Praxis häufig zu Unsicherheiten und Fragestellungen bzgl. des Kontaktes nichtrostender Stähle mit alkalischen Baustoffen wie Beton und Mörtel oder sauren Baustoffen wie Holz, die außerhalb des genannten pH-Wertbereiches liegen können.

-  Bei den typischen Randbedingungen im Bauwesen leiten sich für nichtrostende Stähle im direkten Kontakt mit alkalischen Baustoffen, wie z.B. Verankerungs- und Befestigungsmittel, oder im indirekten Kontakt, etwa durch Ablaufwasser von diesen Baustoffen, keine höheren Anforderungen ab, als sich aus der Anwendung des Verfahrens zur Werkstoffauswahl nach EC 3 ableiten lassen.
-  Bei Kontakt mit alkalischen Baustoffen, wie Beton und Mörtel mit pH-Werten von 10 bis 14 sind in der Regel Werkstoffe der CRC II ausreichend, wenn keine sonstigen relevanten Expositionen nach EC 3 vorliegen.
-  Bei Bauteilen, die den Beton bzw. Mörtel durchdringenden, ergeben sich die Anforderung an die Werkstoffauswahl unmittelbar aus dem im EC 3 ausgeführten Verfahren. Diese sind auch für den Kontakt zu Baustoffen mit pH-Werten über 10 entsprechend anwendbar. Bei einem hohen Expositionsrisiko gegenüber Chloriden und gleichzeitig niedrigem Expositionsrisiko gegenüber Schwefeldioxid, wäre für diesen Fall mindestens eine CRC III zu wählen.
-  Für Bauteile, die vollständig von Beton oder Mörtel umgeben sind, kann die sich aus dem EC 3 ergebende Werkstoffanforderung in der Regel um eine CRC abgemindert werden, da die Umgebungsbedingungen nicht unmittelbar auf den nichtrostenden Stahl einwirken können, wobei jedoch mindestens ein Werkstoff der CRC II zu wählen ist. Nur bei vollständiger Umhüllung durch Beton nach DIN EN 1992 kann bis zur Korrosionsbeständigkeitsklasse CRC I abgemindert werden.
-  Im Kontakt mit Baustoffen mit pH-Werten unter 4 (z.B. Hartholz) ist für den freibewitterten Außenbereich mindestens ein Werkstoff der CRC II zu wählen, sofern aus anderen Anforderungen keine höhere Korrosionsbeständigkeitsklasse erforderlich ist.
-  Sich umgebungsbedingt ausbildende saure Oberflächenfilme (z.B. durch Schadgase wie SO₂, NO_x oder Cl₂ in der Atmosphäre) können auf der Oberfläche von nichtrostenden Stählen auch pH-Werte von unter 3 erreichen. Bei Abwesenheit von Chloriden sind nichtrostende Stähle der CRC III auch unter diesen Bedingungen ausreichend beständig. Besteht gleichzeitig ein sehr hohes Expositionsrisiko gegenüber Chloriden, steigen die Korrosionsschutzanforderungen signifikant. Bei Anwendung des Verfahrens zur Werkstoffauswahl nach EC 3, wird unter solchen Bedingungen, wie diese z.B. in Straßentunneln oder Schwimmhallen anzutreffen sind, der Einsatz von Werkstoffen der CRC V notwendig, sofern nicht regelmäßig gereinigt wird.
-  Bei Abwesenheit von Chloriden können austenitische Werkstoffe ab der CRC III im Bauwesen damit praktisch im pH-Wertbereich von 1 bis 14 Anwendung finden. Dies gilt nicht für die unmittelbare Einwirkung von konzentrierten Säuren und Basen in anderen Branchen, wie etwa Bauteilen und Komponenten in chemischen Prozessanlagen.

pH-Wert

Der pH-Wert, in einem Bereich von 0 bis 14, ist ein Maß für die Wasserstoffionenkonzentration und damit für die Säurekonzentration in wässrigen Lösungen.

Je kleiner der pH-Wert ist, desto saurer, je größer der pH-Wert ist, desto alkalischer ist die Lösung.



3.1.1 Berechnung des CRF

Bei der Berechnung des CRF wird die das Bauteil umgebende Atmosphäre anhand von drei Einflussgrößen bewertet, die im Anschluss addiert werden. Der CRF stellt damit die Beanspruchungsseite dar.

$$CRF = F_1 + F_2 + F_3$$

Tabelle 1: Bestimmung des Expositionsrisikos gegenüber Chloriden F₁ des Korrosionsbeständigkeitsfaktors CRF nach [4]

F ₁ – Risiko der Exposition gegenüber Chloriden aus Salzwasser oder Auftausalzen (Streusalz)		
1	Innenräume	
0	Niedriges Expositionsrisiko	M > 10 km oder S > 0,1 km
-3	Mittleres Expositionsrisiko	1 km < M ≤ 10 km oder 0,01 km < S ≤ 0,1 km
-7	Hohes Expositionsrisiko	0,25 km < M ≤ 1 km oder S ≤ 0,01 km
-10	Sehr hohes Expositionsrisiko	Straßentunnel, bei denen Auftausalz ausgebracht wird oder wenn Fahrzeuge Auftausalze in den Tunnel einbringen könnten.
-10	Sehr hohes Expositionsrisiko	M ≤ 0,25 km ¹⁾ Nordseeküste Deutschlands und alle Küstenregionen der Ostsee
-15	Sehr hohes Expositionsrisiko	M ≤ 0,25 km ¹⁾ Atlantikküste Portugals, Spaniens und Frankreichs. Küste des Ärmelkanals und der Nordseeregionen des UK, Frankreichs, Belgiens, den Niederlanden und Südschwedens. Alle anderen Küstenregionen des UK, Norwegens, Dänemarks und Irlands. Mittelmeerküste

Anmerkung: M ist der Abstand vom Meer und S ist der Abstand von Straßen mit Einsatz von Auftausalzen

¹⁾ Die Entfernung M ≤ 0,25 km setzt voraus, dass das Bauwerk nicht durch die Topographie geschützt ist. Wenn die Topographie einen teilweisen Schutz für das Bauwerk bietet, kann erfahrungsgemäß eine Stahlsorte von einer Korrosionsbeständigkeitsklasse niedriger verwendet werden. Beispiele für einen solchen Schutz sind Bauwerke über Buchten oder Flussmündungen mit begrenzter Wellenhöhe, physische Barrieren wie Bäume, Hügel und andere Gebäude innerhalb der 0,25 km Zone. [6]

F₁ berücksichtigt das Risiko der Exposition gegenüber Chloriden aus Salzwasser oder Auftausalzen

F₂ berücksichtigt das Risiko der Exposition gegenüber Schwefeldioxid

F₃ berücksichtigt das Reinigungskonzept oder die Exposition gegenüber Abwaschen durch Regen

Für die Bestimmung der drei Summanden F₁, F₂ und F₃ sind Tabelle 1, Tabelle 2 und Tabelle 3 anzuwenden.

Wichtig: Nicht alle Teile einer Konstruktion müssen den gleichen CRF zugeordnet werden. Einige können z.B. frei bewittert sein, während andere vor Regen geschützt sind. Daher ist jeder Expositionsfall separat zu bewerten.

Anmerkung: Der nationale Anhang darf festlegen, ob ein geringerer CRF ausgewählt werden darf, wenn validierte örtliche Erfahrungen oder Prüfdaten eine abweichende Auswahl unterstützen.

Tabelle 2: Bestimmung des Expositionsrisikos gegenüber Schwefeldioxid F₂ des Korrosionsbeständigkeitsfaktors CRF nach [4]

F ₂ – Risiko der Exposition gegenüber Schwefeldioxid		
0	Niedriges Expositionsrisiko	Mittelwert der Gaskonzentration < 10 µg/m ³
-5	Mittleres Expositionsrisiko	Mittelwert der Gaskonzentration 10 µg/m ³ bis 90 µg/m ³
-10	Hohes Expositionsrisiko	Mittelwert der Gaskonzentration 90 µg/m ³ bis 250 µg/m ³

Anmerkung: In den europäischen Küstenregionen ist die Schwefeldioxidkonzentration üblicherweise gering. Im Landesinneren ist die Schwefeldioxidkonzentration entweder gering oder mittel. Ein hohes Expositionsrisiko ist ungewöhnlich und stets mit besonderen Standorten der Schwerindustrie oder spezifischen Umgebungsbedingungen, wie beispielsweise Straßentunneln, verbunden. Die Schwefeldioxidkonzentration kann in Übereinstimmung mit dem Verfahren in ISO 9225 bewertet werden.

Tabelle 3: Bestimmung des Einflusses aus Reinigung oder Beregnung F₃ des Korrosionsbeständigkeitsfaktors CRF nach [4]

F ₃ – Reinigungskonzept oder die Exposition gegenüber Abwaschen durch Regen	
0	Vollständige Exposition gegenüber Abwaschen durch Regen
-2	Spezifisches Reinigungskonzept
-7	Kein Abwaschen durch Regen oder keine spezifische Reinigung

Anmerkung: Wenn $F_1 + F_2 \geq 0$, dann $F_3 = 0$

Anmerkung: 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 3 Monate sein. Ist eine Reinigung festgelegt, sollte sie für alle Teile des Bauwerks gelten und nicht nur für die leicht zugänglichen und gut sichtbaren Bauteile.

Tabelle 4: Bestimmung der Korrosionsbeständigkeitsklasse CRC und Zuordnung der dazugehörigen Stahlsorten nach [4]

CRF	CRC	Stahlsorte ¹⁾	Gefügeart
CRF = 1	I - gering	1.4003	ferritisch ²⁾
		1.4016	ferritisch ²⁾
		1.4512	ferritisch ²⁾
0 ≥ CRF > -7	II - mäßig	1.4301	austenitisch
		1.4307	austenitisch
		1.4311	austenitisch
		1.4541	austenitisch
		1.4318	austenitisch
		1.4306	austenitisch
		1.4567	austenitisch
		1.4482	austenitisch-ferritisch
		1.4621	ferritisch ²⁾
		1.4622	ferritisch ²⁾
		1.4509	ferritisch ²⁾
		1.4521	ferritisch ²⁾
-7 ≥ CRF > -15	III - mittel	1.4401	austenitisch
		1.4404	austenitisch
		1.4435	austenitisch
		1.4571	austenitisch
		1.4429	austenitisch
		1.4432	austenitisch
		1.4162	austenitisch-ferritisch
		1.4362	austenitisch-ferritisch
		1.4062	austenitisch-ferritisch
		1.4578	austenitisch
		1.4420	austenitisch
		1.4439	austenitisch
-15 ≥ CRF ≥ -20	IV - hoch	1.4462	austenitisch-ferritisch
		1.4539	austenitisch
		1.4662	austenitisch-ferritisch
		1.4565	austenitisch
CRF < -20	V - sehr hoch	1.4529	austenitisch
		1.4547	austenitisch
		1.4410	austenitisch-ferritisch
		1.4501	austenitisch-ferritisch
		1.4507	austenitisch-ferritisch
		1.4507	austenitisch-ferritisch

3.1.2 Bestimmung der CRC und Auswahl der Stahlsorte

Insgesamt gibt es fünf Korrosionsbeständigkeitsklassen, von I (geringe Korrosionsbeständigkeit) bis V (sehr hohe Korrosionsbeständigkeit). Mit dem berechneten CRF kann in Tabelle 4 die mindestens erforderliche Korrosionsbeständigkeitsklasse bestimmt und dann eine Stahlsorte gewählt werden, die der erforderlichen oder einer höheren CRC zugeordnet ist. Eine höhere CRC zu wählen ist jedoch meistens nicht wirtschaftlich.

Die CRC steht für den legierungsabhängigen Korrosionswiderstand.

Am Beispiel der Verbindungsmittel für Beleuchtungs- und Kabeltragsysteme in Straßentunneln (s. Abb. 6) wird im Folgenden die korrekte CRC beispielhaft bestimmt.

**Straßentunnel mit Chlorideintrag (Tab.1):
F1 = -10**

**Hohes Expositionsrisiko gegenüber Schwefeldioxid (Tab. 2 inkl. Anmerkung)
F2 = -10**

**Kein Abwaschen durch Regen und kein spezifisches Reinigungskonzept (Tab. 3):
F3 = -7**

**Für den CRF ergibt sich damit ein Wert von:
CRF = -10 - 10 - 7 = -27**

Damit ist eine Stahlsorte aus CRC V zu wählen (Tab. 4).

Anmerkung:

- ¹⁾ Die Stahlsorte einer höheren Klasse darf anstelle der durch den CRF vorgegebenen Klasse verwendet werden.
- ²⁾ Die Bruchzähigkeit von ferritischen nichtrostenden Stählen sollte für externe Anwendungen nachgewiesen werden.

3.2 Schwimmhallenatmosphäre

Bei Bau und Einrichtung von Schwimmbädern sowie bei der Sanierung von Schwimmbecken kommen vielfach nichtrostende Stähle zum Einsatz. Unterschieden werden dabei überwiegend durch Nasskorrosion beanspruchte Beckenbereiche und überwiegend durch atmosphärische Korrosion beanspruchte Bauteile. Bei Letzteren wird auch noch zwischen nichttragenden und tragenden Bauteilen differenziert. [23]

Tragende Bauteile in Schwimmhallenatmosphären, die nicht oder nur selten überspült bzw. gereinigt werden, sind Bedingungen ausgesetzt, unter denen Lochkorrosion, Spaltkorrosion und insbesondere auch Spannungsrisskorrosion auftreten können. Selbst Oberflächen, die vom Schwimmbecken weit entfernt liegen, können durch chloridhaltige Verbindungen in der Umgebungsluft geschädigt werden.

Wiederholtes Auftrocknen von Spritzwasser aus dem Badebereich oder die Ablagerung von feinen Nebeltröpfchen können zu einem hochkonzentrierten und hochgradig korrosiven, chloridhaltigen Belag auf den Bauteiloberflächen führen, durch den die Beständigkeit vieler Stahlsorten überschritten wird. Besonders kritisch ist dies für Bauteile, deren Versagen zu Personenschäden führen können.

Hierzu gehören z.B. Halter für Hängeleuchten und Lautsprecher, Befestigungselemente für abgehängte Decken (Abb. 7) sowie Stäbe und Drahtseile zur Befestigung von Luftschächten, Wasserrutschen oder anderen Konstruktionselementen. [24]

Für den Einsatz in Schwimmhallenatmosphäre sind daher für tragende Bauteile sowie Befestigungsmittel, Verbindungsmittel und Gewindeteile nur die in Tabelle 5 aufgeführten Korrosionsbeständigkeitsklassen zugelassen.



Abb. 7: Schweres Unglück im Hallenbad Uster (Schweiz) im Jahr 1985, bei dem wegen des Einsturzes der Zwischendecke zahlreiche Menschen zu Tode kamen. Ursache war Spannungsrisskorrosion an den Aufhängungsbügeln aus Cr-Ni-Stahl (CRC II). Die Oberflächen der gebrochenen Bügel zeigen unterschiedlich stark fortgeschrittene Korrosion. Der rechte Bügel zeigt eine starke Einschnürung mit typischer Gleitbruchfläche und hat vermutlich am längsten getragen. Beim mittleren Bügel ist eine geringe Einschnürung noch erkennbar.

Tabelle 5:
 Stahlsorten für
 Schwimmhallen-
 atmosphären nach [4]

Tragende Bauteile in Schwimmhallenatmosphäre	Korrosionsbeständigkeitsklasse (CRC)
Tragende Bauteile, die regelmäßig gereinigt werden	CRC III oder CRC IV
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)

Anmerkung: 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 **1 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.

3.3 Mechanische Verbindungselemente

Schrauben und Muttern aus nichtrostendem Stahl sowie allgemeine Regeln zur Auswahl von nichtrostenden Stählen für Verbindungselemente sind in den Normen DIN EN ISO 3506-1 [18], DIN EN ISO 3506-2 [19] und DIN EN ISO 3506-6 [25] geregelt. Die Schraubenwerkstoffe in diesen Normen werden jedoch nicht mit Werkstoffnummern, wie sie z.B. aus der DIN EN 10088-1 bekannt sind, bezeichnet, sondern mit

Buchstabe-Ziffer-Kombinationen, denen vorgegebene Grenzwerte für die chemische Zusammensetzung zugeordnet sind. Der Buchstabe steht dabei für die Gruppe der nichtrostenden Stähle und die Ziffer gibt den Bereich der chemischen Zusammensetzung innerhalb der Gruppe an. Tabelle 6 enthält eine Übersicht über die Sorten nach DIN EN ISO 3506-1.

Tabelle 6:

Sorten nichtrostender Stähle für mechanische Verbindungselemente nach [18]

Sorte nichtrostender Stähle	Chemische Zusammensetzung ¹⁾ (Schmelzanalyse, Massenanteil in %) ²⁾										Andere Elemente und Anmerkungen	
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	N		
Austenitisch	A1	0,12	1,00	6,5	0,020	0,15 - 0,35	16 - 19,0	0,70	5,0 - 10,0	1,75 - 2,25	-	3), 4), 5)
	A2	0,10	1,00	2,00	0,050	0,030	15,0 - 20	- ⁶⁾	8,0 - 19,0	4,0	-	7), 8)
	A3	0,08	1,00	2,00	0,045	0,030	17,0 - 19,0	- ⁶⁾	9,0 - 12,0	1,00	-	5C ≤ Ti ≤ 0,80 und/oder 10C ≤ Nb ≤ 1,00
	A4	0,08	1,00	2,00	0,045	0,030	16,0 - 18,5	2,00 - 3,00	10,0 - 15,0	4,0	-	8), 9)
	A5	0,08	1,00	2,00	0,045	0,030	16,0 - 18,5	2,00 - 3,00	10,5 - 14,0	1,00	-	5C ≤ Ti ≤ 0,80 und/oder 10C ≤ Nb ≤ 1,00 ⁹⁾
	A8	0,030	1,00	2,00	0,040	0,030	19,0 - 22,0	6,00 - 7,0	17,5 - 26,0	1,50	-	-
Martensitisch	C1	0,09 - 0,15	1,00	1,00	0,050	0,030	11,5 - 14,0	-	1,00	-	-	9)
	C3	0,17 - 0,25	1,00	1,00	0,040	0,030	16,0 - 18,0	-	1,50 - 2,50	-	-	-
	C4	0,08 - 0,15	1,00	1,50	0,060	0,15 - 0,35	12,0 - 14,0	0,60	1,00	-	-	3), 9)
Ferritisch	F1	0,08	1,00	1,00	0,040	0,030	15,00 - 180	- ⁶⁾	1,00	-	-	10)
Duplex	D2	0,040	1,00	6,0	0,040	0,030	19,00 - 24,00	0,10 - 1,00	1,50 - 5,5	3,00	0,05 - 0,20	Cr + 3,3Mo + 16N ≤ 24,0 ¹¹⁾
	D4	0,040	1,00	6,0	0,040	0,030	21,00 - 25,00	0,10 - 2,00	1,00 - 5,5	3,00	0,05 - 0,30	Cr + 3,3Mo + 16N > 24,0 ¹¹⁾
	D6	0,030	1,00	2,00	0,040	0,015	21,0 - 23,0	2,50 - 3,5	4,5 - 6,5	-	0,08 - 0,35	-
	D8	0,030	1,00	2,00	0,035	0,015	24,0 - 26,0	3,00 - 4,5	6,0 - 8,0	2,50	0,20 - 0,35	W ≤ 1,00

Anmerkung:

- 1) In Übereinstimmung mit Werkstoffnormen stellen die Werte, sofern nichts anderes angegeben ist, Höchstwerte dar und die Anzahl der angegebenen Dezimalstellen entspricht den üblichen Regeln, siehe z.B. EN 10088 (alle Teile).
- 2) Im Schiedsfall gilt die Produktanalyse.
- 3) Selen kann verwendet werden, um Schwefel zu ersetzen, jedoch können für seine Verwendung Einschränkungen gelten.
- 4) Wenn der Massenanteil an Nickel unter 8,0 % liegt, muss der Massenanteil an Mangan mindestens 5,0 % betragen.
- 5) Für den Massenanteil an Kupfer gibt es keine Mindestgrenze, sofern der Massenanteil an Nickel mehr als 8,0 % beträgt.
- 6) Molybdän ist nach Ermessen des Herstellers zulässig. Falls dennoch für bestimmte Anwendungen eine Einschränkung des Molybdängehaltes notwendig ist, muss dies vom Kunden zum Zeitpunkt der Bestellung festgelegt werden.
- 7) Falls der Massenanteil an Chrom unter 17,0 % liegt, sollte der Massenanteil an Nickel mindestens 12,0 % betragen.
- 8) Bei austenitischen nichtrostenden Stählen mit einem Massenanteil an Kohlenstoff von höchstens 0,030 % darf Stickstoff bis höchstens 0,22 % enthalten sein.
- 9) Der Kohlenstoffanteil darf nach Ermessen des Herstellers höher liegen, soweit dies für größere Durchmesser zum Erreichen der festgelegten mechanischen Eigenschaften erforderlich ist, darf jedoch bei austenitischen Stählen 0,12 % nicht überschreiten.
- 10) Titan und/oder Niob dürfen enthalten sein, um die Korrosionsbeständigkeit zu verbessern.
- 11) Diese Formel wird ausschließlich zur Klassifizierung von Duplex-Stählen nach diesem Dokument verwendet (sie ist nicht für die Verwendung als Auswahlkriterium für die Korrosionsbeständigkeit vorgesehen).

3.3.1 Korrosionsbeständigkeitsklassen für Verbindungselemente

In Tabelle 7 sind die Schraubenwerkstoffe den Korrosionsbeständigkeitsklassen (CRC) zugeordnet. Eine Zuordnung der in DIN EN 1993-1-4:2015 [3] zugelassenen nichtrostenden Stähle zu den Sorten aus DIN EN ISO 3506-1:2020 [18] und den Korrosionsbeständigkeitsklassen ist auch in Tabelle 2 der Anlage 2 von abZ/abG Z-30.3-6 zu finden [7]. Für die Verwendung in Umgebungen mit geringer korrosiver Belastung (CRC I), wird darin auch ein nichtrostender ferritischer Stahl für Verbindungsmittel zugelassen [7].

Nach FprEN 1993-1-4:2024 [4] sollten Schrauben und Muttern aus nichtrostendem Stahl den Normen EN ISO 3506-1 und EN ISO 3506-2 entsprechen. Damit sind nur die in Tabelle 7 genannten Schraubenwerkstoffe für tragende Bauteile nach Eurocode 3 zugelassen. Die Korrosionsbeständigkeit von Schrauben sollte gleich oder besser als die des Grundmaterials sein.

Unterlegscheiben sollten aus nichtrostendem Stahl und nach den Normen EN ISO 7089 oder EN ISO 7090 hergestellt sein.

Für Bauteile, die nicht den Regeln des EC3 unterliegen, können zusätzlich auch die der jeweiligen Korrosionsbeständigkeitsklasse zugeordneten Sorten aus Tabelle 4 für Schrauben, Muttern und Unterlegscheiben eingesetzt werden (s.a. Infokasten „Tragende Bauteile“ auf S. 19).

3.3.2 Mischverbindungen bei Verbindungselementen

Bei der Verwendung von Schrauben mit Muttern und Unterlegscheiben sollte zur Sicherstellung der Korrosionsbeständigkeit die gleiche Sorte nichtrostender Stähle gepaart werden (z.B. A2-Mutter mit A2-Schraube).

Andere Kombinationen wie A4-Mutter mit D4-Schraube sind immer möglich. Kombinationen von A2 mit A4 sind auch möglich, aber nur unter der Voraussetzung, dass

- das Bauteil mit der niedrigeren Korrosionsbeständigkeit den unter den Einsatzbedingungen erforderlichen CRC entspricht und damit ausreichend korrosionsbeständig ist und
- das Risiko des Festfressens der Schraube betrachtet werden sollte.

In Zweifelsfällen ist ein Werkstoffexperte zu Rate zu ziehen.

Bei der Kombination von nichtrostenden Stählen mit un- oder niedriglegierten Stählen in Schraubverbindungen, sollte die Verwendung von isolierenden Teilen in Betracht gezogen werden, zur Vermeidung von Bimetallkorrosion (s.a. Abschnitt 4.3 und [18]).

Tabelle 7:
Zuordnung von Schraubenwerkstoffen zu Korrosionsbeständigkeitsklassen nach [4]

Korrosionsbeständigkeitsklasse (CRC)	Austenitisch	Austenitisch-Ferritisch (Duplex)
I	-	-
II	A2, A3	D2
III	A4, A5	D4
IV	A8	D6
V	A8 ¹⁾	D8 ¹⁾

Anmerkung:

¹⁾ Der besondere Fall der Spannungsrisskorrosion von tragenden Bauteilen aus nichtrostendem Stahl in Schwimmbädern wird in EN 13451-1 behandelt: die einzigen Stahlsorten, die uneingeschränkt für diese Anwendung empfohlen werden und als Verbindungselemente erhältlich sind, fallen in den Bereich der Sorte A8. [25]

4 Einflussfaktoren auf die Korrosionsbeständigkeit

Im Folgenden werden einige Faktoren aufgeführt, die einen Einfluss auf die Korrosionsbeständigkeit haben können. Die Auflistung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. abZ/aBG Z-30.3-6 [7], DIN EN 1993-1-4 [3] sowie [6] liefern ebenfalls Hinweise und Details.

4.1 Geschweißte oder thermisch geschnittene Bauteile

Die Nachbehandlung von Schweißnähten und Schnittkanten zum Entfernen von Anlauffarben ist erforderlich. Dabei sollten alle Anlauffarben, auch Strohgelb und heller, entfernt werden.

Bereiche, in denen Anlauffarben nicht entfernt werden können, sollten konstruktiv so positioniert sein, dass sie durch die Schweißnaht vollständig verschlossen werden. Weitere Hinweise hierzu sind in abZ/aBG Z-30.3-6 [7], [26] und [27] gegeben.

4.2 Fremdrost

Fremdrost erzeugende Partikel dürfen nicht auf die Oberfläche von nichtrostenden Stählen gelangen. Beim mechanischen Bearbeiten von nichtrostenden Stählen sowie beim Entfernen von Anlauffarben dürfen daher keine Werkzeuge verwendet werden, mit denen zuvor un- oder niedriglegierter Stahl bearbeitet wurde, oder Drahtbürsten aus derartigen Stählen. Ist das nicht möglich, ist die Oberfläche anschließend zum Entfernen der Fremdrost erzeugenden Partikel nachzuarbeiten (z.B. durch Schleifen oder Beizen).

4.3 Bimetallkorrosion

Kommen unterschiedliche Metalle in einer Konstruktion in Kontakt, kann Bimetallkorrosion (auch Kontaktkorrosion oder galvanische Korrosion genannt) auftreten. Sie tritt allerdings nur auf, wenn ein Feuchtfilm (Elektrolyt) an der Kontaktstelle vorhanden ist und auch nur dann, wenn dieser häufig und langanhaltend feucht ist.

In wässriger Umgebung (auch Erdreich) hat Bimetallkorrosion eine größere Bedeutung als an der Atmosphäre, wo sie nur wirksam sein kann, wenn Feuchtigkeit vorhanden ist.

Liegen Verschmutzungen, hygroskopische Salze, dauerfeuchte Ablagerungen, selbstsaugende Dichtungen oder dauerfeuchte Spalte vor, so sind auch unter den Bedingungen einer sonst unbedenklichen atmosphärischen Beanspruchung Schäden möglich. Bei Kontakt von nichtrostendem Stahl mit unedleren Metallen wie un- oder niedriglegiertem Baustahl, verzinktem Stahl oder Aluminium besteht nur für die unedleren Metalle die Gefahr der Bimetallkorrosion, an nichtrostenden Stählen selbst kommt sie praktisch nicht vor. Auch die Kombination von Legierungen aus unterschiedlichen CRC kann nicht zur Bimetallkorrosion führen, solange sichergestellt ist, dass die geringere CRC den Korrosionsbeanspruchungen unter den Einsatzbedingungen genügt.

Im ISER-Merkblatt 829 [28] sind viele grundlegende Informationen zum Thema Bimetallkorrosion zusammengefasst. Darin sind auch Hinweise für Maßnahmen zur Vermeidung zu finden. [3], [6] und [7] geben ebenfalls Hinweise und Erläuterungen.

4.4 Flüssigmetallinduzierte Spannungsrisskorrosion

Bei Kontakt von Edelmetallen mit flüssigem Zink oder Kupfer, kann es zu einem Eindringen der flüssigen Metalle in den Stahl entlang der Korngrenzen kommen, wodurch die Gefahr sofortiger Versprödung und Bauteilversagen besteht. Diese Form der Schädigung bezeichnet man als flüssigmetallinduzierte Spannungsrisskorrosion oder Lotbrüchigkeit (auch: Lötbrüchigkeit).

Aus diesem Grund ist das Feuerverzinken von nichtrostenden Stählen grundsätzlich nicht zulässig. [4] Konstruktionen sind entsprechend so auszuführen, dass im Brandfall kein flüssiges Zink von verzinkten Bauteilen auf die Oberflächen nichtrostender Stähle tropfen kann, es sei denn, die Versprödung des nichtrostenden Stahls beeinträchtigt im konkreten Fall nicht die Standsicherheit des Bauwerks.

Auch Abrieb von Zink und Kupfer auf Stahloberflächen kann zu Lotbrüchigkeit führen, wenn das kontaminierte Bauteil beispielsweise im weiteren Verlauf der Bearbeitung noch stark erhitzt wird (z.B. Wärmebehandlung, Schweißen).

4.5 Abwaschen durch Regen

Ist als Reinigungskonzept „Vollständige Exposition gegenüber Abwaschen durch Regen“ (s.a. Tabelle 3) gewählt, dann ist sicherzustellen, dass **alle** Teile einer Konstruktion durch Regen erreicht werden können. Ansonsten besteht, wegen des fehlenden spezifischen Reinigungskonzepts die Gefahr, dass durch Eintrag von Aerosolen und Verdunstung auf der Bauteiloberfläche korrosionsauslösende Stoffe abgelagert und angereichert werden und in der Folge Korrosionserscheinungen hervorrufen.

Ist also nicht sichergestellt, dass jedes einzelne Teil durch Regen vollständig abgewaschen wird, muss ein spezifisches Reinigungskonzept aufgestellt werden (s. Tabelle 3 inkl. Anmerkungen).

4.6 Schweißen höher-kohlenstoffhaltiger Sorten

Stähle mit einem Massenanteil Kohlenstoff von mehr als 0,030 % (z.B. 1.4301, 1.4401) können beim Fügen durch Schweißen sensibilisiert werden und dadurch zu interkristalliner Korrosion (IK) neigen, wenn sie nicht durch Titan (Ti) oder Niob (Nb) stabilisiert sind. Dickwandige Teile sollten daher nicht aus diesen Sorten hergestellt werden, wenn Fügen durch Schweißen vorgesehen ist. Die Höchstdicken nach Anlage 6, Tabelle 8 der abZ/aBG Z-30.3-6 [7] sollten beachtet werden.

4.7 Schwefellegierte Sorten – „Zerspanungsgüten“







Einige Sorten der nichtrostenden Stähle (z.B. 1.4305 und 1.4598) sind mit Schwefel legiert, wodurch eine verbesserte Zerspanbarkeit gegenüber Standardsorten erreicht wird. An den sich bildenden Sulfid-Ausscheidungen brechen Späne leichter ab und erleichtern damit vor allem die Herstellung von Massenteilen oder Teilen mit hohem Zerspanungsaufwand. Der Einsatz von Zerspanungsgüten ist jedoch im Hinblick auf Anwendungsbereich, Temperatur, korrosive Medien, ggf. vorhandene Chloridbelastungen etc. genau zu prüfen. Aufgrund von Schadensfällen und aus normativer Sicht sind einige Einschränkungen für den Einsatz dieser Sorten gegeben.

Allem voran weisen sie eine verringerte Korrosionsbeständigkeit gegenüber vergleichbaren Sorten auf, was sich jedoch nicht anhand der Wirksumme erkennen lässt. Die Sulfid-Ausscheidungen fördern den Start von Lochkorrosion.






Weiterhin sind schwefellegierte Sorten nicht für Druckbehälter oder den Kontakt mit Lebensmitteln geeignet, erfüllen möglicherweise nicht die Europäische Richtlinie 94/27 im Hinblick auf die Hautverträglichkeit für den Menschen und sind nach abZ/aBG Z-30.3-6 [7] auch nicht für tragende Anwendungen im Baubereich zugelassen.

4.8 Weitere allgemeine Hinweise




Oberflächen (s.a. [20], [26], [29], [30]):

-  Oberflächen mit einer Mittenrauheit von weniger als 0,5 µm haben eine signifikant erhöhte Korrosionsbeständigkeit gegenüber raueren
-  Rostfreien Edelstahl von anderen Stählen räumlich getrennt lagern und verarbeiten
-  Nicht die gleichen Werkzeuge für rostfreien Edelstahl und andere Stähle verwenden
-  Bearbeitungsmaschinen vorher reinigen
keine Stahlwolle oder -bürsten verwenden, sondern nur solche aus rostfreiem Edelstahl
-  Kontakt von rostendem und nichtrostendem Stahl vermeiden
-  Keine chloridhaltigen Folien verwenden (z.B. PVC)

Reinigung/Pflege (s.a. [31]):

-  Regelmäßiges Entfernen von Ablagerungen
-  Schutzfolien rechtzeitig entfernen
-  Grundreinigung nach Fertigstellung eines Gewerks durchführen
-  Keine chloridhaltigen Reiniger verwenden
-  Farbspritzer mit Lösemittel entfernen

Spalte und Schweißfehler (s.a. [20]):

-  Korrosion aufgrund von Spalten und Schweißfehlern vermeiden (Abbildung 8:).
-  Spalte zwischen nichtrostenden Stählen und Nichtleitern sind besonders korrosionsgefährdet
-  Spalte unter Ablagerungen von Luftinhaltsstoffen sind ebenfalls besonders korrosionsgefährdet

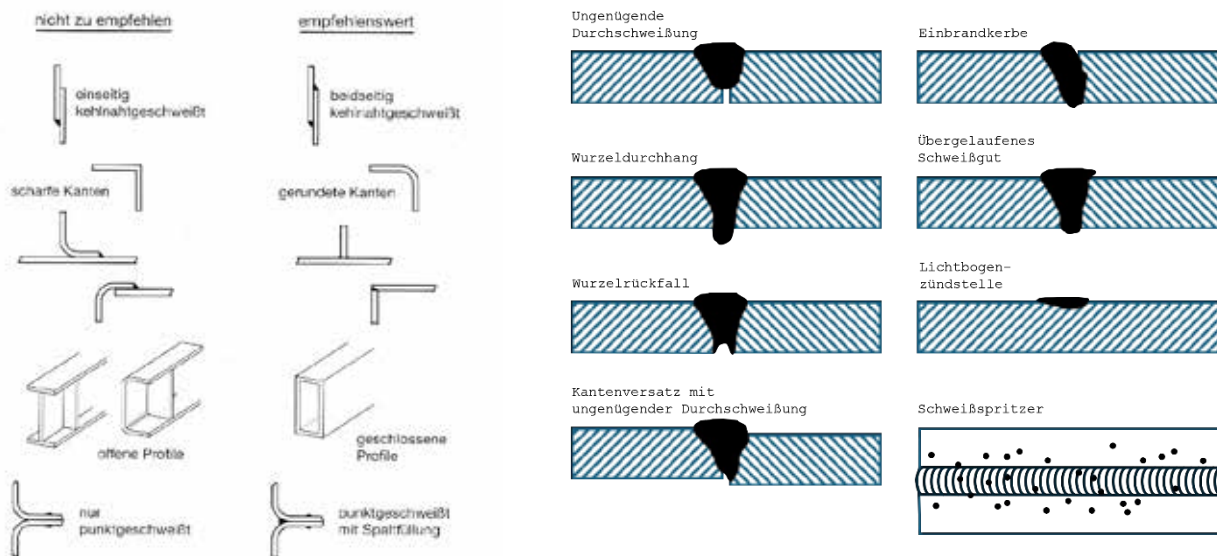


Abb. 8: Zu vermeidende Konstruktionen mit Spalt und empfehlenswerte Alternativen (links) sowie beispielhafte Schweißfehler, die zu vermeiden sind (rechts)

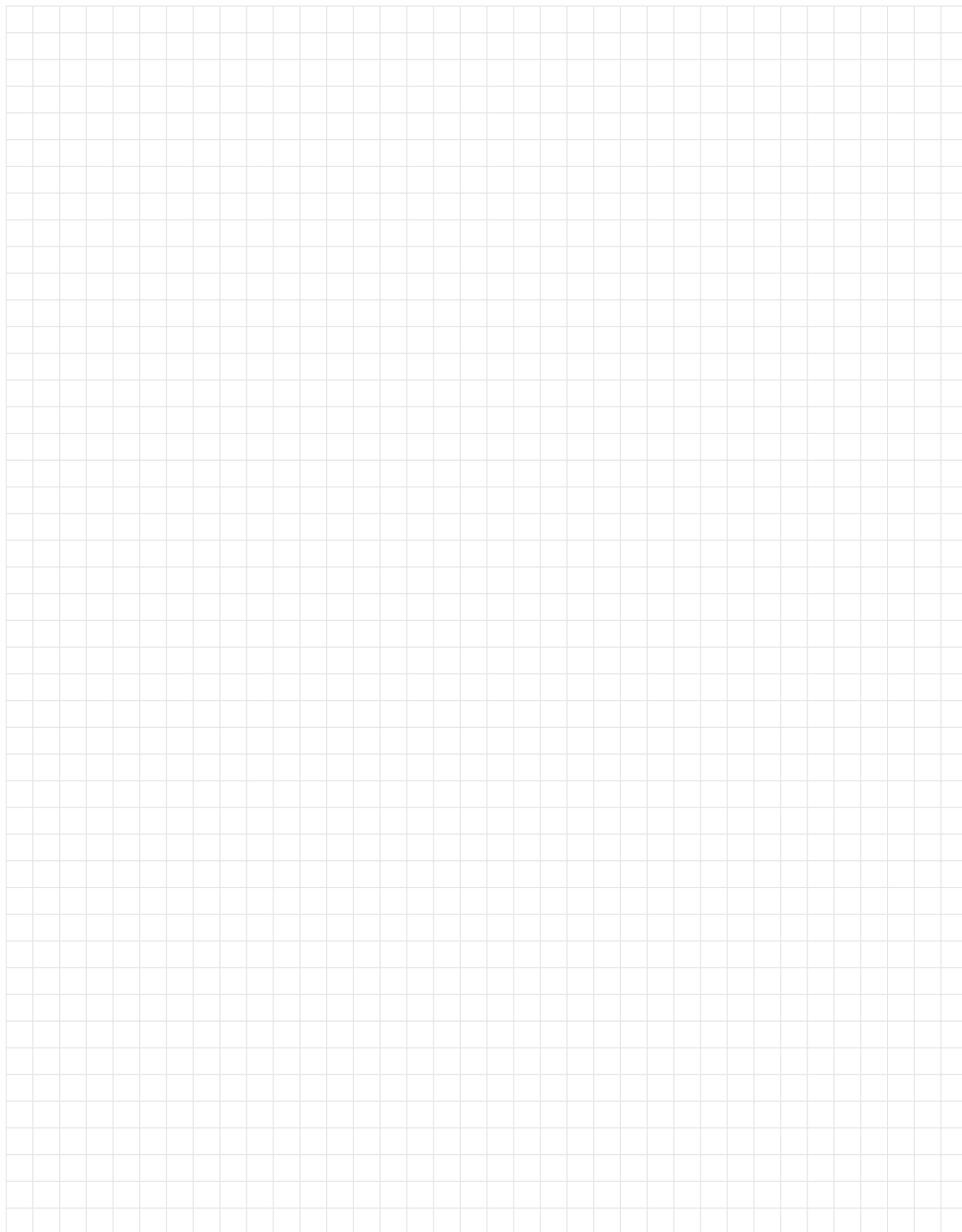
5 Literatur

- [1] Merkblatt 821 - Edelstahl Rostfrei - Eigenschaften, Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Düsseldorf, 2014
- [2] Merkblatt 830 - Edelstahl Rostfrei in chloridhaltigen Wässern, Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Düsseldorf, 2012
- [3] DIN EN 1993-1-4:2015-10 - Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-4: Allgemeine Bemessungsregeln - Ergänzende Regeln zur Anwendung von nichtrostenden Stählen; Deutsche Fassung EN 1993-1-4:2006 + A1:2015, Berlin: DIN Media, 2015.
- [4] FprEN 1993-1-4:2024 - Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-4: Stainless Steel Structures, 2024.
- [5] DIN EN 1993-1-4:2023-03 - Entwurf - Eurocode 3 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-4: Tragwerke aus nichtrostenden Stählen; Deutsche und Englische Fassung prEN 1993-1-4:2023, Berlin: DIN Media, 2023.
- [6] N. Stranghöner, N. Baddoo, F. Meza, D. Ulbrich, C. Abraham und D. Jungbluth, Neue Entwicklungen in PrEN 1993-1-4:2022, Stahlbau-Kalender 2023, 2023.
- [7] Sonderdruck 862 - Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-30.3-6 vom 20. April 2022 „Erzeugnisse, Bauteile und Verbindungselemente aus nichtrostenden Stählen“, Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Düsseldorf, 2022
- [8] Merkblatt 875 - Edelstahl Rostfrei im Bauwesen: Technischer Leitfaden, Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Düsseldorf, 2015.
- [9] DIN EN 10088-1:2024-04 - Nichtrostende Stähle - Teil 1: Verzeichnis der nichtrostenden Stähle; Deutsche Fassung EN 10088-1:2023, Berlin: DIN Media, 2024.
- [10] Merkblatt 987 - Nichtrostende und hitzebeständige Stähle bei hohen Temperaturen, Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Düsseldorf, 2020
- [11] DIN EN 10088-2:2014-12 - Nichtrostende Stähle - Teil 2: Technische Lieferbedingungen für Blech und Band aus korrosionsbeständigen Stählen für allgemeine Verwendung, Berlin: DIN Media, 2014.
- [12] DIN EN 10088-3:2024-04 - Nichtrostende Stähle - Teil 3: Technische Lieferbedingungen für Halbzeug, Stäbe, Walzdraht, gezogenen Draht, Profile und Blankstahlerzeugnisse aus korrosionsbeständigen Stählen für allgemeine Verwendung, Berlin: DIN Media, 2024.
- [13] DIN EN 10088-4:2010-01 - Nichtrostende Stähle - Teil 4: Technische Lieferbedingungen für Blech und Band aus korrosionsbeständigen Stählen für das Bauwesen, Berlin: DIN Media, 2010.
- [14] DIN EN 10088-5:2009-07 - Nichtrostende Stähle - Teil 5: Technische Lieferbedingungen für Stäbe, Walzdraht, gezogenen Draht, Profile und Blankstahlerzeugnisse aus korrosionsbeständigen Stählen für das Bauwesen, Berlin: DIN Media, 2009.
- [15] DIN EN 10095:2018-12 - Hitzebeständige Stähle und Nickellegierungen, Berlin: DIN Media, 2018.
- [16] DIN EN 10296-2:2006-02 - Geschweißte kreisförmige Stahlrohre für den Maschinenbau und allgemeine technische Anwendungen - Technische Lieferbedingungen - Teil 2: Nichtrostende Stähle, Berlin: DIN Media, 2006.
- [17] DIN EN 10297-2:2006-02 - Nahtlose kreisförmige Stahlrohre für den Maschinenbau und allgemeine technische Anwendungen - Technische Lieferbedingungen - Teil 2: Rohre aus nichtrostenden Stählen, Berlin: DIN Media, 2006.

Alle ISER Publikationen stehen zum kostenfreien Download unter www.edelstahl-rostfrei.de/publikationen zur Verfügung.

- [18] DIN EN ISO 3506-1:2020-08 - Mechanische Verbindungselemente - Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus korrosionsbeständigen nichtrostenden Stählen - Teil 1: Schrauben mit festgelegten Stahlsorten und Festigkeitsklassen (ISO 3506-1:2020), Berlin: DIN Media, 2020.
- [19] DIN EN ISO 3506-2:2020-08 - Mechanische Verbindungselemente - Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus korrosionsbeständigen nichtrostenden Stählen - Teil 2: Muttern mit festgelegten Stahlsorten und Festigkeitsklassen (ISO 3506-2:2020), Berlin: DIN Media, 2020.
- [20] Merkblatt 828 - Korrosionsbeständigkeit nichtrostender Stähle an der Atmosphäre, Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Düsseldorf, 2016
- [21] DIN EN 1992-1-1:2011-01 - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, Berlin: DIN Media, 2011.
- [22] DIN EN 1996-1-1:2013-02 - Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk, Berlin: DIN Media, 2013.
- [23] Merkblatt 831 - Edelstahl Rostfrei in Schwimmbädern, Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Düsseldorf, 2016
- [24] A. Burkert, D. Dygutsch, J. Fischer und H.-P. Wilbert, „Einsatz und Pflege von Edelstahl Rostfrei in Schwimmbädern,“ AB Archiv des Badwesens, p. 610 ff., 10 2014.
- [25] DIN EN ISO 3506-6:2022-09 - Mechanische Verbindungselemente – Mech Eigensch. v. Verbindungselem. aus korrosionsbeständigen nichtrostenden Stählen – Teil 6: Allg. Regeln f. d. Auswahl von nichtrostenden Stählen u. Nickellegierungen für Verbindungselemente, Berlin: DIN Media, 2022.
- [26] Merkblatt 823 - Schweißen von Edelstahl Rostfrei, Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Düsseldorf, 2019
- [27] Merkblatt 986 - Visuelle Beurteilung von Schweißnähten bei nichtrostendem Stahl - ein bebildeter Leitfad, Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Düsseldorf, 2020
- [28] Merkblatt 829 - Edelstahl Rostfrei in Kontakt mit anderen Werkstoffen, Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Düsseldorf, 2018
- [29] Merkblatt 822 - Die Verarbeitung von Edelstahl Rostfrei, Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Düsseldorf, 2012
- [30] Merkblatt 968 - Mechanische Oberflächenbehandlung nichtrostender Stähle in dekorativen Anwendungen, Brüssel: Euro Inox, 2006.
- [31] Merkblatt 824 - Die Reinigung von Edelstahl Rostfrei, Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Düsseldorf, 2024

Notizen





Informationsstelle Edelstahl Rostfrei
Sohnstraße 65
40237 Düsseldorf
www.edelstahl-rostfrei.de

