



**Die Innovation für Ihre Ideen**

Duplex-Edelstähle von Outokumpu

**OUTO  
KUMPU**

# Inhalt

Erfahren Sie, wie Sie mit der richtigen Materialauswahl enorme Kosteneinsparungen erzielen und das Wachstum Ihres Unternehmens langfristig sichern können. Hier finden Sie inspirierende Anwendungsbeispiele aus der ganzen Welt.

## GESCHÄFTE UND TRENDS

- Zukunftsträchtiger Erfolg** ..... 4
- Duplex-Revolution** ..... 8
- Anwendungsbeispiele** ..... 9
- Sinnvoller Einsatz von Outokumpu Duplex** ..... 13

Was steckt hinter der Festigkeit von Outokumpu Duplex? Wie wird Duplex geschweißt und geformt? Hier finden Sie detaillierte technische Informationen und Tipps für optimale Ergebnisse.

## ZUSAMMENSETZUNG UND VORTEILE

- Chemische Zusammensetzung** ..... 14
- Mechanische Eigenschaften** ..... 15
- Physikalische Eigenschaften** ..... 17
- Korrosionsbeständigkeit in verschiedenen Umgebungen** ..... 18
- Hinweise für die Verarbeitung** ..... 20
- Produktsortiment** ..... 23

## Anwendungsbeispiele



### Innovative Duplex-Tankanlage

Dem Unternehmen Relisa S.A. ist es gelungen, den Materialeinsatz um bis zu 50 Prozent zu reduzieren.

Lesen Sie mehr dazu auf Seite 9.



### Vielfache Vorteile in der Massenfertigung

Durch Duplex sind die Warmwasserbereiter und -speicher von Kingspan Hot Water Systems Ltd. einfacher zu handhaben und kostengünstiger zu produzieren.

Lesen Sie mehr dazu auf Seite 10.



### Erhalt der Gegenwart

Bei der sechsspurigen Gateway Bridge in Brisbane wird durch Bewehrung mit Outokumpu Duplex an den wichtigsten Komponenten eine Auslegungsliebensdauer von circa 300 Jahren erreicht.

Lesen Sie mehr dazu auf Seite 11.



### Bau der Zukunft

Bei der architektonisch beeindruckenden Marina-Bay-Fußgängerbrücke in Singapur kommen die Vorteile von Outokumpu Duplex zur Geltung.

Lesen Sie mehr dazu auf Seite 12.



### Activating Your Ideas

- Vorfertigung gemäß Ihren Anforderungen
- Vorschläge für den Materialeinsatz
- Computersimulationen und -berechnungen zur Erleichterung der Konstruktionsentwürfe
- Vor-Ort-Tests und administrative Unterstützung

## Welche vielversprechenden Ideen verfolgen Sie?

**Outokumpu ist auf dem besten Weg, die unangefochtene Nummer eins im Edelstahlbereich zu werden. Unsere kompromisslose Ausrichtung auf die Kundenanforderungen hebt uns von anderen ab – bei jedem Schritt, von Forschung und Entwicklung bis hin zur Lieferung. Sie haben die Idee. Wir bieten Ihnen dafür Edelstahl in Top-Qualität, erstklassiges, technisches Know-How und exzellenten Service an.**

### Outokumpu Duplex – mehr Festigkeit, weniger Material

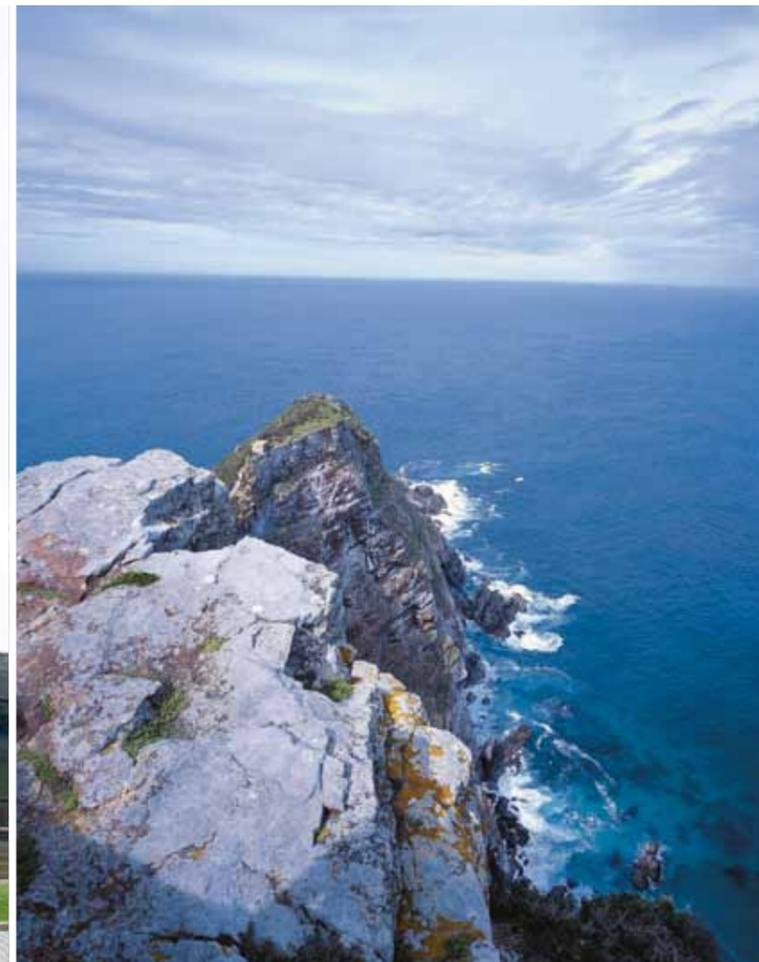
Mit Outokumpu Duplex können Sie die anspruchsvollsten Projekte realisieren. Dank der hervorragenden Festigkeit kommen Sie dabei mit bis zu 50 Prozent weniger Material aus – gleichbedeutend mit enormen

Kosteneinsparungen. Outokumpu Duplex ist ein äußerst umweltverträgliches, nachhaltiges Material, das sich bei entsprechend passender Materialauswahl durch längere Lebensdauer in korrosiven Umgebungen auszeichnet.

Lesen Sie interessante Anwendungsbeispiele und informieren Sie sich über Materialeigenschaften und Verarbeitungstipps zu Outokumpu Duplex. Gemeinsam mit uns können Ihre vielversprechenden Ideen realisiert werden.



Hauptsitz von Montan Stahl mit Skulpturen von Helidon Xhixha links im Bild. Mit freundlicher Genehmigung von Montan Stahl.



## Zukunftsträchtiger Erfolg – Lösungen für bevorstehende Herausforderungen

**Aufgrund der Haltbarkeit, Korrosionsbeständigkeit und Ästhetik des Materials wird Edelstahl immer häufiger eingesetzt. Bei Auswahl der richtigen Güte hat Edelstahl eine Haltbarkeit von bis zu hundert Jahren. Langfristig gilt Edelstahl dank der geringen Wartungskosten zudem häufig als das kostengünstigste Material.**

### TREND 1: Stabilitätsbestrebungen in der Weltwirtschaft

In der Wirtschaft streben alle Beteiligten nach Stabilität. Bei großen Bauprojekten lassen sich enorme Einsparungen durch die Auswahl der richtigen Materialien realisieren. Duplex-Edelstahl von Outokumpu zeichnet sich durch hervorragende Festigkeit aus – oft ist es deshalb möglich, gleiche Bauwerke mit weniger

Material zu errichten. Tankwände können beispielsweise erheblich dünner konstruiert werden. Auch der Nickelgehalt von Outokumpu Duplex ist gegenüber anderen Edelstahlgüten mit vergleichbarer Korrosionsbeständigkeit sehr gering. Daraus ergibt sich eine größere Preisstabilität – für weniger Überraschungen und für eine einfachere Budgetplanung.

### TREND 2: Wachsendes Umweltbewusstsein

In den vergangenen Jahren wurden Bauwerke – etwa für Weltausstellungen oder besondere Veranstaltungen – nach kurzzeitiger Nutzung wieder abgerissen. Angesichts der Verschwendung von Arbeitskraft und der Missachtung von Umweltaspekten ist eine solche Vorgehensweise heutzutage nicht mehr handhabbar. Ökologische Verantwortung und Umweltgesetze nehmen immer mehr Einfluss auf die Geschäftsprozesse von Unternehmen in allen Wirtschaftsbereichen. Für

den gesamten Produktlebenszyklus müssen Verträglichkeitsnachweise erbracht werden. Alle, die mit Blick auf die soziale und ökologische Verantwortung statt mit bloßen Worten auch Taten zeigen, sind die Gewinner von morgen.

### Outokumpu Duplex ist in vielfacher Hinsicht eine umweltschonende Wahl:

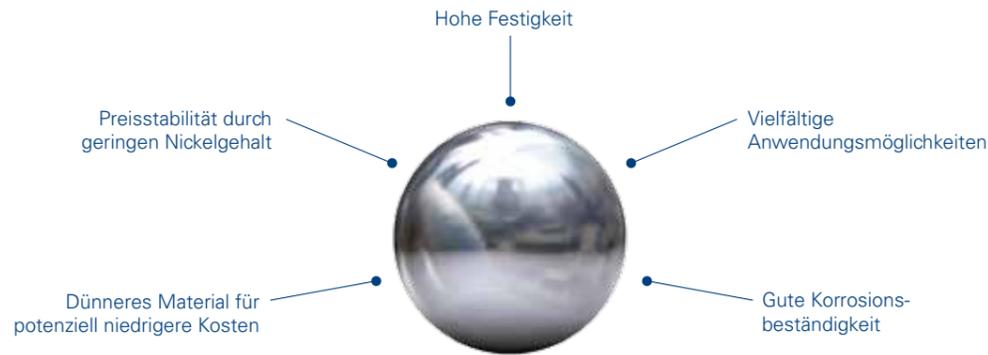
- Als Rohstoff wird recycelter Stahl verwendet; die Recyclingfähigkeit beträgt 100 Prozent.
- Metallionen werden in nur sehr geringem Umfang freigesetzt.
- Die Notwendigkeit des Einsatzes von gefährlichen Beschichtungen verringert sich.
- Dank der hohen Festigkeit kann das Gewicht der Konstruktionen reduziert werden – daraus ergibt sich ein geringerer Energieverbrauch bei Transport, Aufbau und Nutzung.

### TREND 3: Sicherheit und Ästhetik

Neben Korrosionsbeständigkeit und Haltbarkeit spielt der Faktor Mensch eine immer wichtigere Rolle: Heutzutage reicht es nicht mehr aus, bei Tanks, Schiffen und Gebäuden auf die Zweckdienlichkeit zu achten. Ebenso wichtig sind Sicherheit für Bauunternehmer und Mitarbeiter sowie ein angenehmes Erscheinungsbild. Outokumpu Duplex ermöglicht die Konstruktion großer, faszinierender Anlagen mit einer gleichzeitigen Verringerung des Gesamtgewichtes.

# Mehr Festigkeit, weniger Material

Der wesentliche Vorteil von Outokumpu Duplex liegt in der Gewichtsreduktion: Sie erhalten mehr Festigkeit mit weniger Material. Nachfolgend wird ein Beispiel für die Auswirkungen des Austauschs von austenitischem Standardstahl durch Outokumpu Duplex veranschaulicht.



## Gewichtseinsparungsrechner im Internet

Auf unserer Website [www.outokumpu.com](http://www.outokumpu.com) können Sie anhand des Steel Professional Tools interaktiv die für Ihren Verwendungszweck geeigneten Materialien auswählen, Berechnungen zur Schätzung der Wanddicke durchführen und vieles mehr. Besuchen Sie unsere Website und erfahren Sie mehr!

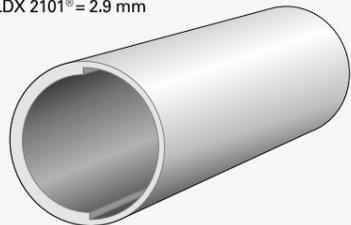
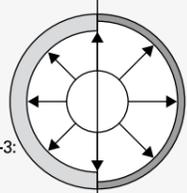
## Weniger Material ist vorteilhaft in jeder Projektphase

Bei Verwendung von Outokumpu Duplex müssen Sie weniger Material erwerben, transportieren, schweißen und zusammenfügen. Allein bei Betrachtung der Arbeitskosten lassen sich dadurch enorme Kosteneinsparungen erzielen.

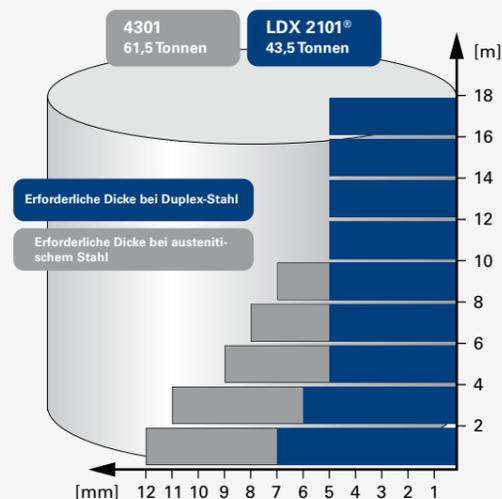
### Rohre: Verringerung bei Wanddicke und Gewicht zwischen Güte 1.4307 und Güte LDX 2101®

|           | Güte 1.4307 | Güte LDX 2101® |
|-----------|-------------|----------------|
| Wanddicke | 6,0 mm      | 3,0 mm         |
| Gewicht   | 90 Tonnen   | 45 Tonnen      |

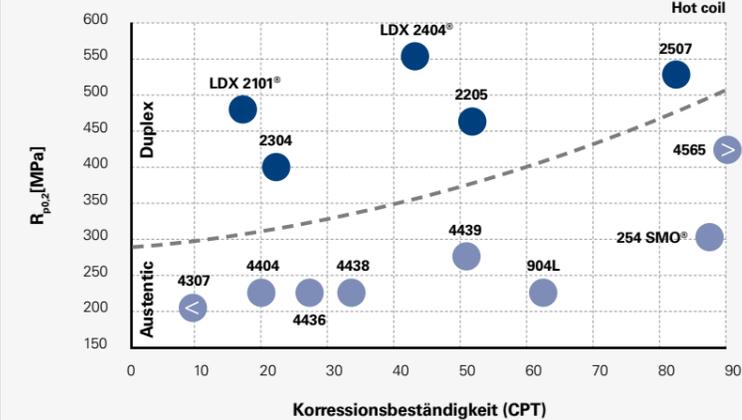
**Konstruktionsdaten**  
 Druck = 16 Bar  
 Temperatur = 50 °C  
 Außendurchmesser = 610 mm  
 Erforderliche Rohrlänge = 1000 m  
 Min. Wanddicke gemäß EN 13480-3:  
 Schweißnahtfaktor z = 0,7  
 1.4307 = 5,8 mm  
 LDX 2101® = 2,9 mm



### Behälter: Duplex als Ersatz für austenitischen Stahl bei einem Lagertank

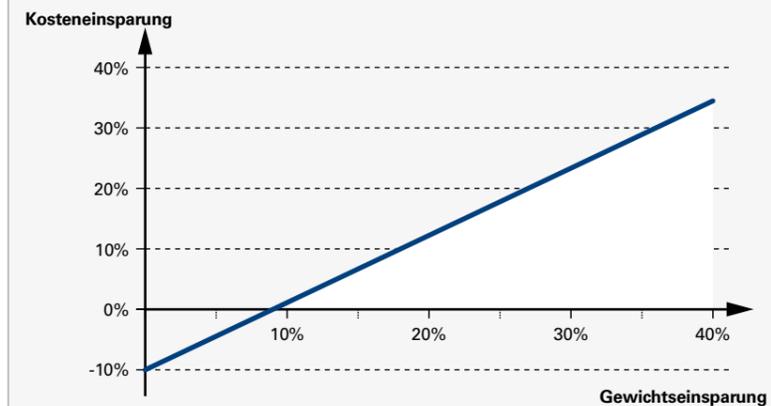


### Positionierung von Duplex-Güten



Hervorragende Kombination aus hoher Festigkeit und angemessener Korrosionsbeständigkeit.

### Potenzielle Einsparungen mit Duplex im Vergleich zu austenitischen Güten



Einsparpotenzial mit Duplex im Vergleich zu austenitischen Güten. Der Verlauf der Kurve hängt von den verglichenen Güten und dem tatsächlichen Preisniveau ab.

### TANKKOSTEN-BEISPIEL 1:

#### Austenitischer Stahl im Vergleich zu Outokumpu Duplex

Bei Fertigung eines Tanks mit Outokumpu Duplex statt mit konventionellem austenitischem Stahl fallen die größten Einsparungen in der Produktionsphase an, da weniger Material benötigt wird. Die Tankwände können deutlich dünner sein, ohne Einsparung von Sicherheitsaspekten.

|                                     | 4301            | LDX 2101®       |
|-------------------------------------|-----------------|-----------------|
| Blechdicke                          | 5–12 mm         | 5–7 mm          |
| Materialkosten*                     | 144 TEUR        | 108 TEUR        |
| Schweißkosten**                     | 55 TEUR         | 35 TEUR         |
| Arbeitskosten** (Schweißen/Tankbau) | 89 TEUR         | 49 TEUR         |
| Fertigungskosten insgesamt          | 144 TEUR        | 84 TEUR         |
| <b>Anlagekosten insgesamt</b>       | <b>288 TEUR</b> | <b>192 TEUR</b> |

#### Einsparpotenzial ca. 33 Prozent

Tankgröße: Durchmesser 18,5 m, Höhe 18 m.

\* Basis: Outokumpu-Preisliste vom 19. Okt. 2009.

\*\* Basis: Istkosten eines schwedischen Herstellungsbetriebs 2008.

### TANKKOSTEN-BEISPIEL 2:

#### Kohlenstoffstahl im Vergleich zu Outokumpu Duplex

Bei Fertigung eines Tanks mit Outokumpu Duplex statt mit Kohlenstoffstahl fallen die größten Einsparungen bei der Instandhaltung an: Kohlenstoffstahl muss in der Produktionsphase und auch nach bestimmten Nutzungszeiträumen sachgemäß geschützt werden. Dabei sind zusätzliche Arbeiten erforderlich, die bei Verwendung von Outokumpu Duplex nicht anfallen.

|                                     | Kohlenstoffstahl                              | LDX 2101®                            |
|-------------------------------------|---|--------------------------------------|
| Anlagekosten insgesamt*             | 192 TEUR                                      | 192 TEUR                             |
| Oberflächenschutzkosten             | 100 Euro/m <sup>2</sup> x 1000 m <sup>2</sup> | Kein Oberflächenschutz erforderlich! |
| Wartungsintervall                   | 15 Jahre                                      |                                      |
| Lebenszyklusdauer                   | 30 Jahre                                      | 30 Jahre                             |
| Betriebskosten                      | 64 TEUR                                       | 0 TEUR                               |
| <b>Lebenszykluskosten insgesamt</b> | <b>256 TEUR</b>                               | <b>192 TEUR</b>                      |

#### Einsparpotenzial ca. 25 Prozent

Tankgröße: Durchmesser 18,5 m, Höhe 18 m.

\* Annahme gleich hoher Anfangskosten: Die geringeren Materialkosten für Kohlenstoffstahl werden bei einem Tank, der für eine aggressive Atmosphäre entwickelt wurde, durch die Maßnahmen für den Oberflächenschutz ausgeglichen.



## Innovative Duplex-Tankanlage – Gewichtseinsparung von bis zu 50 Prozent



Bild freundlicherweise zur Verfügung gestellt von Emypro

Das spanische Unternehmen Relisa S.A. lagert flüssige Nahrungsmittel und Chemikalien in einer neuen Tankanlage am Hafen von Barcelona: Der spanische Tankbauer Emypro S.A. hat die gesamte, aus 22 Einheiten bestehende Anlage mit Blechen aus Outokumpu Duplex LDX 2101<sup>®</sup> errichtet. Bei der Konstruktion der ersten Anlagestufe erkannte das Team von Emypro die Vorteile der Duplex-Güte und überzeugte gemeinsam mit Outokumpu die Verantwortlichen bei Relisa.

Als Emypro die letzten Arbeiten an den Tanks ausführte, bestellte Relisa neun weitere Tanks mit derselben Güte. Durch die Materialwahl boten sich dank der Materialeigenschaften von LDX 2101<sup>®</sup> wichtige Wettbewerbsvorteile für den Tankbauer und den Tankbetreiber: Die Festigkeit ist bei dieser Güte fast doppelt so hoch wie bei austenitischen Standardgüten. Emypro konnte dadurch, verglichen mit den austenitischen Alternativen 1.4301/1.4307 (304/304L), sehr viel Material einsparen. Die Gewichtseinsparung beläuft sich insgesamt auf mehr als 20 Prozent, bei einigen Tankbereichen sogar auf bis zu 50 Prozent.

### Technische Highlights

Outokumpu Duplex zeichnet sich durch gute Schweißbarkeit aus; zudem eignet sich das Material für nahezu alle bekannten Schweißverfahren. Lesen Sie weitere Tipps zu dem Thema Schweißen auf Seite 20.

### Interessante Fakten

Die bahnbrechende Entwicklung von Emypro und Outokumpu ist die Fortsetzung einer langen Tradition von gemeinsam erreichten Meilensteinen. Ein Beispiel dafür ist der weltgrößte Duplex-Lagertank (mit 22 Meter Durchmesser und 25 Meter Höhe), produziert mit Outokumpu Duplex der Güte 2304.

## Duplex-Revolution – Beispiele für verwirklichte Ideen

Das schwedische Unternehmen Avesta Jernverk AB, das mittlerweile zu Outokumpu gehört, produzierte 1930 seine erste kommerzielle Duplex-Legierung: Die Stahlsorte Avesta 453S enthielt 26 Prozent Chrom, 5 Prozent Nickel und 1,5 Prozent Molybdän. Sie wurde zunächst als sogenanntes säurefestes Material bei der Produktion von Sulfitzellstoff eingesetzt.

Die höhere Festigkeit des neuen Materials war besonders erstaunlich. Es wurden daher Tests mit bestimmten Komponenten durchgeführt, die starken Beanspruchungen standhalten mussten, wie beispielsweise Achsen, Pumpen und Zahnstangen. Mit der Weiterentwicklung im industriellen Bereich wurden die Anwendungsmöglichkeiten von Duplex umfassend erschlossen.

Bis heute beweist Outokumpu Duplex in aller Welt seinen Wert. Wir sind stolz auf die realisierten Meisterwerke unserer Kunden.



Bild freundlicherweise zur Verfügung gestellt von Kingspan Hot Water Systems Ltd.

## Vielfache Vorteile in der Massenfertigung

### Bei der Warmwasserbereitung und -speicherung im Haushalt ist Zuverlässigkeit der entscheidende Aspekt.

Hersteller möchten für ihre Produkte oft eine lange Garantie gewähren – sogar für Zeiträume bis zu

30 Jahren. Verständlicherweise wünschen diese Hersteller eine absolut einwandfreie Qualität der Materialien. Kingspan Hot Water Systems Ltd, Marktführer bei Hochleistungslösungen für die Warmwasserbereitung und -speicherung in ganz Großbritannien und Irland, ist schon seit langer Zeit zufriedener Kunde von Outokumpu.

Bei Kingspan wurde eine kostengünstigere Alternative zu unlegiertem Stahl und Kupfer, den seit 50 Jahren bestehenden Branchenstandards, gesucht. Die Lösung: Outokumpu Duplex. Innovative Hersteller wie Kingspan können sich damit klare Wettbewerbsvorteile erschließen. Die Festigkeit des Materials ermöglicht eine Verringerung der Wanddicke um fast

30 Prozent. Warmwasserboiler werden damit leichter handhabbar und können kostengünstiger produziert werden. Die Vorteile vervielfältigen sich in der Massenfertigung. In tausenden Haushalten ist die Warmwasserversorgung jahrelang gesichert.

### Technische Highlights

Outokumpu Duplex bietet eine hervorragende Widerstandsfähigkeit gegen Spannungsrisskorrosion. Lesen Sie darüber mehr auf Seite 18.

### Interessante Fakten

Die Wasserqualität ist in verschiedenen europäischen Regionen unterschiedlich. Vor diesem Hintergrund bietet Outokumpu Werkstoffe an, die den Anforderungen von Kingspan gerecht werden. LDX 2101<sup>®</sup> und 2304 eignen sich perfekt für die europäische Wasserqualität. Für anspruchsvollere Umgebungen empfiehlt sich die Verwendung von 2205.

## Erhalt der Gegenwart – Bauqualität für die nächsten 300 Jahre

Im Rahmen des Gateway-Upgrade-Projekts wird die Kapazität der sechsspurigen Gateway Bridge in Brisbane durch den Bau einer zweiten, ähnlichen Brücke verdoppelt. Es handelt sich um das größte Straßen- und Brückenbauprojekt in der Geschichte des australischen Bundesstaates Queensland. Auftraggeber ist Queensland Motorways, die Betreibergesellschaft der Brücke; für Planung und Bauausführung ist das Leighton Abigroup Joint Venture verantwortlich. Ein zukunftsgerichtetes Konzept: Die neue Brücke wird auf eine Lebensdauer von circa 300 Jahren ausgelegt.

Um eine derart lange Nutzung zu ermöglichen, erhalten die wichtigsten Brückenstrukturen Bewehrungsstäbe aus Edelstahl; die Pfahlkopfplatten befinden sich in der Spritzwasserzone des Brisbane-Flusses. Das Leighton Abigroup Joint Venture wandte sich an Outokumpu, als ein Anbieter von rostfreien Bewehrungsstäben gesucht wurde. Unser Unternehmen ist einer der weltweit führenden Hersteller von Edelstahllangprodukten.

Ausgehend von ihrem umfassenden Expertenwissen und ausgelöst durch die damaligen Edelstahlpreise machten sich die Brückenbauingenieure auf die Suche nach einem Edelstahl mit geringem Nickelgehalt. Ein solcher Edelstahl ist Outokumpu LDX 2101<sup>®</sup>. Die nächste Aufgabe bestand darin, den Kunden davon zu überzeugen, dass die Eigenschaften von LDX 2101<sup>®</sup> den Erfordernissen der Umgebung entsprechen. Outokumpu half dabei. Aus den Betonmischungseigenschaften und der Korrosionsbeständigkeit von LDX 2101<sup>®</sup> ergab sich eine 75 Millimeter starke Betonummantelung – mehr als genug für die hohen Anforderungen an die

Haltbarkeit. Das Ergebnis: eine kostengünstige und langlebige Lösung für den Kunden.

### Technische Highlights

Outokumpu Duplex zeichnet sich durch eine hervorragende Beständigkeit gegenüber atmosphärischer Korrosion in extremen Umweltbedingungen aus, etwa bei Industrieanlagen, in der Nähe von Meeresküsten oder in großen Städten. Weitere Informationen finden Sie hierzu auf Seite 19.

### Interessante Fakten

Schätzungen zufolge verursacht Korrosion in den USA jährliche Kosten in Höhe von 300 Milliarden US-Dollar – das entspricht 3 bis 4 Prozent des Bruttoinlandsproduktes. Gut 40 Prozent der Schäden könnten vermieden werden. Wenn Gebäude heutzutage vorzeitige Abnutzungserscheinungen aufweisen, ist die Hauptursache dafür die Korrosion der Kohlenstoffstahlbewehrung. Die jährlichen direkten Kosten von Korrosion an Brücken werden allein für die USA auf 5,9 bis 9,7 Milliarden US-Dollar geschätzt.<sup>1</sup> Bei Einbeziehung der indirekten Kosten, also dem Verlust an wirtschaftlichem Ertrag, könnten sich zehnfach höhere Kosten ergeben. In Westeuropa sind die Zahlen nicht viel positiver – in einem Bericht aus Skandinavien wird geschätzt, dass jedes Jahr etwa 5 Milliarden Euro für Reparaturen an korrosionsgeschädigten Betoninfrastrukturen ausgegeben werden.<sup>2</sup>

### Quellen:

- <sup>1</sup> B. Elsener, L. Bertolini, R.B. Polder, P. Pedferri, Corrosion Of Steel In Concrete Prevention, Diagnosis, Repair, John Wiley and Sons Ltd., Weinheim, 2004.  
<sup>2</sup> D.B. McDonald, D.W. Pfeifer, Y.P. Virmani, Corrosion-resistant reinforcing bars Findings of a 5-year FHWA Study. Int. Conf. Corrosion and Rehabilitation of Reinforced Concrete Structures. FHWA, Orlando, 7. bis 11. Dezember 1998.

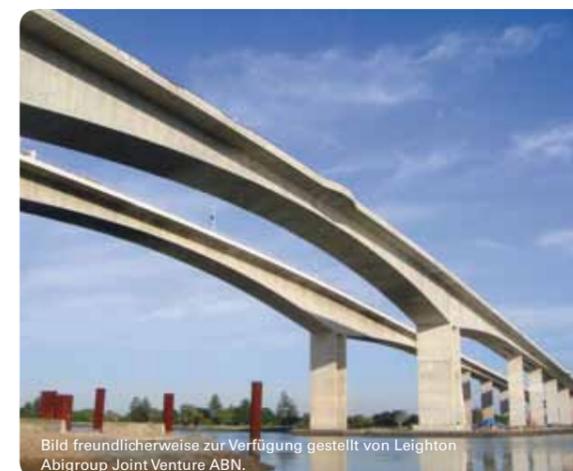


Bild freundlicherweise zur Verfügung gestellt von Leighton Abigroup Joint Venture ABN.





## Bau der Zukunft

**Die Marina-Bay-Fußgängerbrücke in Singapur mit ihrer atemberaubenden Architektur und der ausgefeilten Konstruktion verbindet wichtige Erschließungsgebiete, ist aber auch eine Attraktion für sich, die Singapurs Standortanspruch als biomedizinisches Zentrum symbolisiert. Die fast 300 Meter lange Brücke ist in vielfacher Hinsicht einzigartig: Sie besteht aus zwei spiralförmigen Edelstahlröhren, die an die Struktur der DNA erinnern. Nach Aussage der Konstrukteure ist die DNA-Form Sinnbild für „Leben und Kontinuität, Erneuerung und Wachstum“.**

Mit der rostfreien Doppelhelix-Struktur werden bei Brückenarchitektur und -konstruktion völlig neue Richtungen eingeschlagen: Die innere Spirale der Doppelhelix dient zur Unterstützung der Überdachung aus Fritteglast und Edelstahlgitter, die den Fußgängern Schatten spendet. Die Brückenbauingenieure wählten Outokumpu Duplex 2205 (EN 1.4462) als geeignete Edelstahlgüte für die Doppelhelix- und Stützstruktur aus. Im feuchtwarmen

Meeresklima von Singapur sorgt diese äußerst korrosionsbeständig Güte für geringe Wartungskosten und ein ästhetisches Erscheinungsbild während der mindestens 100 Jahre langen Nutzungsdauer. Die hohe Festigkeit von Duplex 2205 ermöglicht zudem die Entwicklung einer kostengünstigen Konstruktion. Dieser Duplex-Einsatz folgt auf eine Reihe anspruchsvoller Brückenbauprojekte in der ganzen Welt, für die Outokumpu rostfreie Duplex-Produkte in mehreren verschiedenen Werkstoffen geliefert hat.

### Technische Highlights

Mit den richtigen Werkzeugen und Geräteeinstellungen können Duplex-Güten in ebenso attraktive wie funktionale Formen gebracht werden. Lesen Sie mehr über das Formen von Outokumpu Duplex auf Seite 22.

### Interessante Fakten

Die Edelstahloberfläche ist nachts in ein spektakuläres Lichtspiel eingebunden. Sie reflektiert programmierte Leuchteffekte, die das einzigartige Brückendesign besonders hervorhebt.

## Projektcheckliste zum wertvollen Einsatz von Duplex

**Sind einige der unten aufgeführten Eigenschaften für Ihren Anwendungsbereich von Bedeutung? Dann sollten Sie bei der Materialauswahl auf Outokumpu Duplex setzen.**

### Materialanforderungen

- Beständigkeit gegenüber allgemeiner Flächenkorrosion
- Beständigkeit gegenüber Loch- und Spaltkorrosion
- Widerstandsfähigkeit gegen Spannungsrisskorrosion und Schwingungsrisskorrosion
- Hohe mechanische Festigkeit
- Gute Abrasions- und Erosionsbeständigkeit
- Gute Dauerschwingfestigkeit
- Hohe Energieabsorption
- Geringe thermische Ausdehnung
- Gute Schweißbarkeit
- Temperaturbereich zwischen -40 °C und +250-325 °C\*
- Druckbehälter, Träger

### Kein Bedarf

- Scharf abknickende Formen mit engem Biegeradius
- Komplexe Formungsverfahren

\*Höchsttemperatur = 250 °C nach EN 10028-7, Höchsttemperatur = 325 °C nach ASME II -D 2007

# Das Erfolgsrezept: Auf Ihre Anforderungen abgestimmte Legierungselemente

Was steckt hinter der Festigkeit von Outokumpu Duplex? Das Geheimnis liegt in der Verbindung der optimalen Eigenschaften von zwei Gefügestrukturen: Austenit und Ferrit. Das Ergebnis: Zwei kristalline Phasen, jede mit einer Zusammensetzung, die für sich genommen Korrosionsbeständigkeit sichern kann. Bei Duplex-Güten gibt es eine kubisch-raumzentrierte Phase (Ferrit) und eine kubisch-flächenzentrierte Phase (Austenit). Die günstigen Eigenschaften beider Phasen können in einer Legierung genutzt werden.

Die chemische Zusammensetzung von Duplex-Güten sorgt für gute Korrosionsbeständigkeit und erwünschte mechanische und physikalische Eigenschaften. Outokumpu bietet Edelstahlgüten, die speziell auf die Erfüllung spezifischer Anforderungen von Kunden ausgerichtet sind.

## Legierungselemente und ihr Nutzen

### Chrom für rostfreie Qualität

Stahl muss mindestens 11 Prozent Chrom enthalten, damit die passive Schicht entstehen kann, durch die ein Stahl rostfrei wird. Diese Inhaltsstoffe verbessern die Korrosions- und Oxidationsbeständigkeit. Duplex-Stähle von Outokumpu haben einen hohen Chromgehalt – zwischen 21,5 und 25 Prozent.

### Nickel für größere Zähigkeit

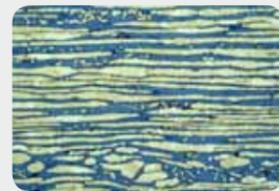
Mit Nickel wird das gewünschte Phasengleichgewicht erreicht und die Zähigkeit des Materials erhöht. Duplex-Stähle enthalten einen relativ kleinen Nickelanteil – zwischen 1,5 und 7 Prozent. Bei beginnender Korrosion ist ein höherer Nickelgehalt günstig für die Repassivierung.

### Stickstoff für Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit

Die Beimischung von Stickstoff ist sehr wichtig, da damit eine deutlich höhere Festigkeit und Lochkorrosionsbeständigkeit erreicht wird. Gleichzeitig bewirkt Stickstoff eine starke Stabilisierung der Austenitphase. Stickstoff verbessert außerdem die Schweißereigenschaften.

### Molybdän für verbesserte Korrosionsbeständigkeit

Molybdän verbessert die Korrosionsbeständigkeit in den meisten Umgebungen, insbesondere mit Chlorideinwirkung.



Duplex-Gefügestruktur Längsschnitt eines warmgewalzten Blechs; helle Phase Austenit, dunklere (blaue) Phase Ferrit

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung

| Outokumpu-Bezeichnung des Stahls | Internationale Stahlnummer |                | Chemische Zusammensetzung, Gewichtsprozentanteile; Typische Werte |      |      |      |     |                 |  |
|----------------------------------|----------------------------|----------------|---|------|------|------|-----|-----------------|--|
|                                  | EN                         | ASTM           | C   | N    | Cr   | Ni   | Mo  | Andere Elemente |  |
| Duplex-Stahl                     | LDX 2101®                  | 1.4162 S32101  | 0.03  | 0.22 | 21.5 | 1.5  | 0.3 | 5Mn             |  |
|                                  | 2304                       | 1.4362 S32304  | 0.02  | 0.10 | 23   | 4.8  | 0.3 | –               |  |
|                                  | LDX 2404®                  | 1.4662 S82441  | 0.02  | 0.27 | 24   | 3.6  | 1.6 | 3Mn             |  |
|                                  | 2205                       | 1.4462 S32205* | 0.02  | 0.17 | 22   | 5.7  | 3.1 | –               |  |
|                                  | 2507                       | 1.4410 S32750  | 0.02  | 0.27 | 25   | 7.0  | 4.0 | –               |  |
| Austenitischer Stahl             | 4307                       | 1.4307 304L    | 0.02  | –    | 18.1 | 8.1  | –   | –               |  |
|                                  | 4404                       | 1.4404 316L    | 0.02  | –    | 17.2 | 10.1 | 2.1 | –               |  |
|                                  | 904L                       | 1.4539 N08904  | 0.01  | –    | 20   | 25   | 4.3 | 1.5Cu           |  |
|                                  | 254 SMO®                   | 1.4547 S31254  | 0.01  | 0.20 | 20   | 18   | 6.1 | Cu              |  |

\* Auch erhältlich als S31803

# Mechanische Eigenschaften: Hervorragende Festigkeit

Outokumpu Duplex zeichnet sich durch vorteilhafte mechanische und physikalische Eigenschaften aus. Die mechanische Festigkeit ist der von austenitischen und ferritischen Edelstählen überlegen und die physikalischen Eigenschaften eröffnen neue Möglichkeiten. Dies sind klare Vorteile bei Anwendungen im Konstruktionsbereich, etwa bei Druckbehältern und Trägerkonstruktionen.

## Zulassungen für Druckbehälter

Alle Duplex-Güten mit Ausnahme von LDX 2101® sind in EN 10028-7 aufgeführt. Derzeit läuft das

Verfahren zur Erlangung einer europäischen Materialzulassung für LDX 2101®. (LDX 2101® wird teilweise in EN 10088 aufgeführt.) Ebenso läuft das Verfahren für die Zulassung der Materialsorte LDX 2404® nach ASTM/ASME.

ASME: In ASME II-D Ausgabe 2007 (metrisch) sind die Güten S31803 (2205), S32304 (2304) und S32750 (2507) für den allgemeinen Einsatz zwischen -30 °C und +325 °C aufgeführt. Daten für LDX 2101® können ASME Code Case 2418 entnommen werden.

Tabelle 2: Mechanische Eigenschaften von Flachprodukten bei Zimmertemperatur

|                  |                   |     | Mindestwerte nach EN 10088 |       |                       | Typische Werte bei Outokumpu |         |         |
|------------------|-------------------|-----|----------------------------|-------|-----------------------|------------------------------|---------|---------|
|                  |                   |     | P                          | W     | K                     | P(15mm)                      | W (4mm) | K (1mm) |
| <b>LDX 2101®</b> |                   |     |                            |       |                       |                              |         |         |
| Dehngrenze       | R <sub>p0.2</sub> | MPa | *450                       | *480  | *530                  | 480                          | 570     | 600     |
| Zugfestigkeit    | R <sub>m</sub>    | MPa | *650                       | *680  | *700                  | 700                          | 770     | 800     |
| Dehnung          | A <sub>5</sub>    | %   | *30                        | *30   | *30                   | 38                           | 38      | 35      |
| Härte            | HB                |     |                            |       |                       | 220                          | 230     | 230     |
| <b>2304</b>      |                   |     |                            |       |                       |                              |         |         |
| Dehngrenze       | R <sub>p0.2</sub> | MPa | 400                        | 400   | 450                   | 450                          | 520     | 545     |
| Zugfestigkeit    | R <sub>m</sub>    | MPa | 630                        | 650   | 650                   | 670                          | 685     | 745     |
| Dehnung          | A <sub>5</sub>    | %   | 25                         | 20    | 20                    | 40                           | 35      | 35      |
| Härte            | HB                |     |                            |       |                       | 210                          | 220     | 225     |
| <b>LDX 2404®</b> |                   |     |                            |       |                       |                              |         |         |
| Dehngrenze       | R <sub>p0.2</sub> | MPa | **480                      | **550 | **550                 | 540                          | 620     | 640     |
| Zugfestigkeit    | R <sub>m</sub>    | MPa | **680                      | **750 | **750                 | 750                          | 800     | 850     |
| Dehnung          | A <sub>5</sub>    | %   | **25                       | **25  | **25/30 <sup>1)</sup> | 33                           | 32      | 30      |
| Härte            | HB                | max | 290                        | 290   | 290                   | 230                          |         |         |
| <b>2205</b>      |                   |     |                            |       |                       |                              |         |         |
| Dehngrenze       | R <sub>p0.2</sub> | MPa | 460                        | 460   | 500                   | 510                          | 620     | 635     |
| Zugfestigkeit    | R <sub>m</sub>    | MPa | 640                        | 700   | 700                   | 750                          | 820     | 835     |
| Dehnung          | A <sub>5</sub>    | %   | 25                         | 25    | 20                    | 35                           | 35      | 35      |
| Härte            | HB                |     |                            |       |                       | 250                          | 250     | 250     |
| <b>2507</b>      |                   |     |                            |       |                       |                              |         |         |
| Dehngrenze       | R <sub>p0.2</sub> | MPa | 530                        | 530   | 550                   | 550                          | 590     | 665     |
| Zugfestigkeit    | R <sub>m</sub>    | MPa | 730                        | 750   | 750                   | 820                          | 900     | 895     |
| Dehnung          | A <sub>5</sub>    | %   | 20                         | 20    | 20                    | 35                           | 30      | 33      |
| Härte            | HB                |     |                            |       |                       | 250                          | 265     | 255     |

Tabelle 2 veranschaulicht eine Übersicht der mechanischen Eigenschaften von Flachprodukten (Daten nach EN 10088). Die zulässigen Planungswerte können in Abhängigkeit von der Produktform unterschiedlich sein. Die jeweiligen Werte sind in den entsprechenden Spezifikationen/Konstruktionsnormen angegeben. Werkstoff 1.4501 wird von Outokumpu nur als warmgewalztes Blech produziert. <sup>1)</sup> Bei Stärken unter 3,0 mm gilt A80.

P = warmgewalzte Bleche und Stabstahl  
W = warmgewalzte Bänder  
K = kaltgewalzte Bänder und Spaltbänder, kaltgezogener Stabstahl  
\* Mechanische Eigenschaften nach ASTM A240.  
\*\* Mechanische Eigenschaften nach der internen Norm AM 641.

## Temperatur und Versprödung

Duplex-Stähle neigen mehr als austenitische Edelmetalle zur Ausscheidung von Sigma-Phase, Nitriden und Karbiden, eine Ursache für Versprödung und verringerte Korrosionsbeständigkeit. Die Bildung intermetallischer Phasen wie der Sigma-Phase tritt im Temperaturbereich von 600 bis 950 °C auf; die Neubildung von Ferrit tritt im Bereich zwischen 350 und 525 °C auf (Versprödung bei 475 °C). Es sollte deshalb vermieden werden, die Stähle diesen Temperaturen auszusetzen. Bei normalen Schweißvorgängen und Wärmebehandlungen ist das Versprödungsrisiko gering. Bestimmte Risiken bestehen jedoch, etwa bei einer Wärmebehandlung von dicken Querschnitten. Dies gilt insbesondere bei einer geringen Abkühlungsgeschwindigkeit.

Aufgrund des Versprödungsrisikos sollten Duplex-Stähle nicht über einen längeren Zeitraum in Anwendungen über 250-325 °C eingesetzt werden (siehe Abbildung 1). Die Höchstgrenzen für Temperatur und Festigkeit hängen vom Werkstoff und den verwendeten Konstruktionsnormen ab.

## Hohe Energieabsorption

Durch die Kombination aus hoher Festigkeit und Dehnung weist Outokumpu Duplex eine sehr gute Energieabsorption auf. Das Material ist deshalb

optimal geeignet für Einsatzbereiche wie Explosionschutzwände auf Bohrinseln und Fahrzeugkarosseriekomponenten.

## Grundmaterial mit guter Dauerschwingfestigkeit

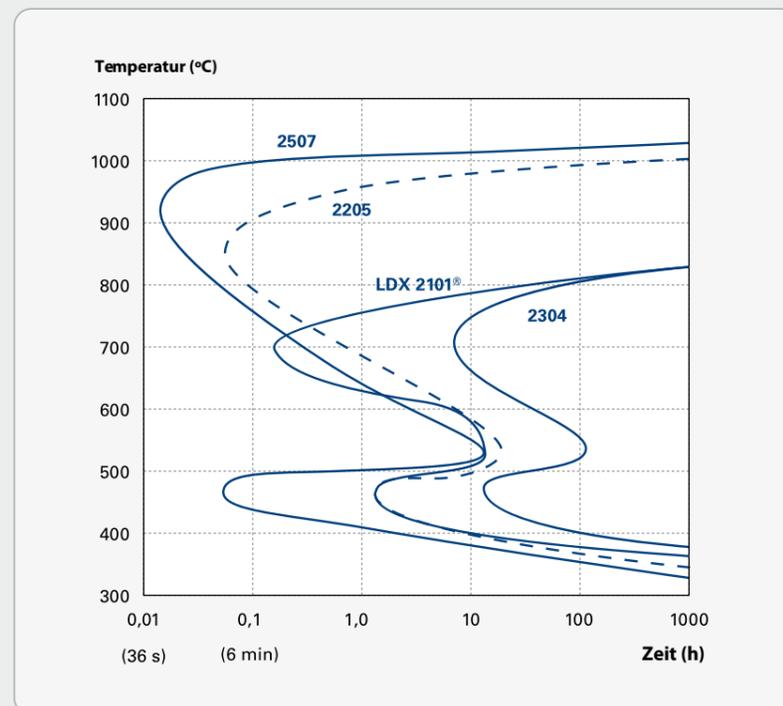
Die hohe Zugfestigkeit von Outokumpu Duplex bewirkt auch eine hohe Dauerschwingfestigkeit im Basismaterial. Die Dauerschwingfestigkeit der Duplex-Stähle folgt der Dehngrenze des Materials. Auf Wunsch erhalten Sie ausführliche Informationen dazu von unserem Forschungsteam.

Bei Schweißstellen sind die Vorteile der hohen Dauerschwingfestigkeit des Ausgangs- oder Grundmaterials begrenzt. Die Dauerschwingfestigkeit wird durch eine ungünstige Schweißgeometrie sowie durch Eigenspannungen, Verzerrungen und Schweißdefekte gemindert.

**Tabelle 3:** Kerbschlagzähigkeit. Mindestwerte nach EN 10028-7 (Querrichtung)

|        | LDX 2101®* | 2304 | LDX 2404®* | 2205 | 2507 |
|--------|------------|------|------------|------|------|
| 20 °C  | 60         | 60   | 60         | 60   | 60   |
| -40 °C | 27         | 40   | 40         | 40   | 40   |

\* nach interner Spezifikation



**Abb. 1:** Kurvenverlauf zur Darstellung der Verringerung der Kerbschlagzähigkeit auf 50 Prozent im Vergleich zum lösungsgeglühten Zustand.

## Physikalische Eigenschaften: Neue Möglichkeiten

### Leicht verschweißbar mit Kohlenstoffstahl

Duplex-Güten von Outokumpu haben einen niedrigeren Wärmeausdehnungskoeffizienten (etwa  $13 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ) und eine höhere Wärmeleitfähigkeit als austenitische Stähle. Aus diesem Grund treten weniger Probleme durch Temperaturexpansion auf, die bei Verbindung von Outokumpu Duplex mit Kohlenstoffstählen entstehen. Duplex ist eine gute Alternative bei der Auskleidung von Behältern aus unlegiertem Stahl, die starken zyklischen Temperaturschwankungen ausgesetzt sind.

### Magnetische Eigenschaften

Duplex-Edelstähle haben aufgrund des höheren Ferritgehalts mehr Magnetkraft als austenitische Güten. Aus Sicherheitsgründen dürfen Duplex-Bleche nicht mit Magneten angehoben werden.

**Tabelle 4:** Physikalische Eigenschaften von Duplex-Edelstählen nach EN 10088

| Physikalische Eigenschaft   | 20 °C | 200 °C |
|---|-------|--------|
| Raumgewicht [g/cm³]   | 7,8   | -      |
| Elastizitätsmodul [GPa]   | 200   | 186    |
| Querkontraktionszahl [dimensionslos]                                    | 0,3   | -      |
| Längenausdehnung von 20 bis 200°C ( $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ) | -     | 13,5   |
| Wärmeleitfähigkeit [W/m °C]   | 15    | 17     |
| Wärmekapazität [J/kg °C]  | 500   | 560    |
| Elektrischer Widerstand [ $\mu\Omega/\text{m}$ ]                        | 0,8   | 0,9    |



Tankanlage für Palmöl, Bild freundlicherweise zur Verfügung gestellt von Lodders Crokiaan

# Korrosionsbeständigkeit in vielfältigen Umgebungen

Die Korrosionsbeständigkeit von Outokumpu Duplex ist generell sehr hoch. Besonders gut ist die Beständigkeit in Umgebungen wie halogenidhaltigen Substanzen, oxidierenden Säuren und heißen alkalischen Lösungen. Wärmetauscher, Durchlauferhitzer, Hochseeanlagen, Lagertanks, Verdampfer und Abgasreinigungssysteme sind Beispiele für Einsatzbereiche, bei denen die Materialeigenschaften von Duplex-Stählen vorteilhaft sind.

## Allgemeine Flächenkorrosion

Die Beständigkeit gegenüber allgemeiner Flächenkorrosion wird bei einer Korrosionsrate von unter 0,1 mm pro Jahr im Allgemeinen als gut betrachtet. Aufgrund ihres hohen Chromgehalts bieten Duplex-Stähle in vielen Substanzen – insbesondere in alkalischen Lösungen – eine hervorragende Korrosionsbeständigkeit.

## Loch- und Spaltkorrosion: Wärmetauscher, Durchlauferhitzer, Hochseeanlagen, Lagertanks usw.

In chlorhaltigen Lösungen hat LDX 2101<sup>®</sup> in den meisten Fällen eine bessere Beständigkeit als 1.4307 und in einigen Fällen eine ebenso gute Beständigkeit wie 1.4404. Güte 2304 entspricht in den meisten Fällen 1.4404, die anderen hochlegierten Duplex-Stähle bieten sogar eine noch bessere Beständigkeit. Die Widerstandsfähigkeit gegenüber Loch- und Spaltkorrosion wird häufig über den PRE-Wert für das Material angegeben (Pitting Resistance Equivalent, auch als Wirksumme bezeichnet). Dies ist die gängigste Formel zur Berechnung des PRE-Werts:

$$PRE = \%Cr + 3,3x\%Mo + 16x\%N$$

Anhand des PRE-Werts lassen sich unterschiedliche Edelstähle vergleichen. Ein komplexeres Verfahren zum Einstufen von Stählen ist das Messen der

kritischen Lochkorrosionstemperatur (CPT). Outokumpu setzt dabei auf eine elektrochemische Methode, ASTM G150, bei der die Avesta-Zelle – eine Outokumpu-Eigenentwicklung – zum Einsatz kommt (siehe Abbildung 2). Auf Anfrage stellen wir Ihnen die entsprechenden Daten gerne zur Verfügung.

## Chlorid- und sulfidinduzierte Spannungsrisskorrosion: Bohrlöcher und Gasschächte usw.

Alle Duplex-Güten bieten gegenüber der chloridinduzierte Spannungsrisskorrosion (SRK) eine viel höhere Beständigkeit als austenitische Standardstähle. Sie können daher bei hohen Temperaturen höheren Chloridgehalten standhalten. Unter dem Einfluss von Schwefelwasserstoff und Chloriden steigt – bei niedrigen Temperaturen – das Risiko der Spannungsrisskorrosion. Entsprechende Umgebungsbedingungen sind beispielsweise in Bohrlöchern für Öl- und Gasschächte anzutreffen. Duplex-Güten, insbesondere 2205 und 2507, haben bei solchen Bedingungen eine sehr gute SRK-Beständigkeit gezeigt.

## Korrosionsermüdung und Interkristalline Korrosion

In Kombination von hoher mechanischer Festigkeit und sehr guter Korrosionsbeständigkeit bieten Duplex-Stähle eine überlegene Korrosionsdauerfestig-



keit. Dank des Duplex-Gefüges und des geringen Kohlenstoffgehalts zeichnen sich die Duplex-Stähle durch eine gute Beständigkeit gegen Interkristalline Korrosion aus.

## Erosionskorrosion

Edelstahl bietet im Allgemeinen eine gute Beständigkeit gegen Erosionskorrosion. Duplex-Stähle sind aufgrund der Kombination aus hoher Oberflächenhärte und hoher Korrosionsbeständigkeit besonders gut.

## Galvanische Korrosion

Zu galvanischer Korrosion kann es kommen, wenn zwei verschiedene Metalle (etwa durch Schweißen) in einem Elektrolyt elektrisch verbunden werden. Edelstahl ist in den meisten Fällen edler als andere metallische Materialien. Das edlere Metall wird geschützt, während das weniger edle Metall stärker angegriffen wird. Edelstahl verursacht bei Kontakt mit unlegiertem Betonstahl keine galvanische Korrosion des Kohlenstoffstahls, da der pH-Wert in Beton hoch ist. Galvanische Korrosion tritt nicht zwischen verschiedenen Edelstählen auf, sofern beide Stahlgüten passiv sind.

## Atmosphärische Korrosion

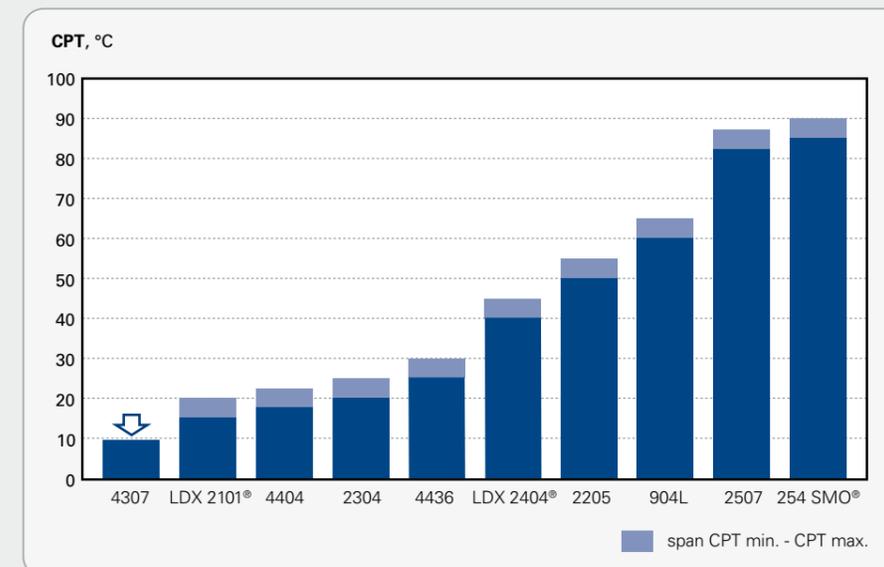
Atmosphärische Korrosion ist keine eigenständige Korrosionsform, sondern ein Sammelbegriff für Korrosion, die an Oberflächen in der Atmosphäre auftritt. Wenn Edelstahl einer aggressiven Atmosphäre ausgesetzt wird, entstehen Primärflecken; in diesem Zusammenhang auch von Teefleckenbildung gesprochen. Edelstahl kann jedoch mit der Zeit auch durch örtliche Korrosion angegriffen werden, insbesondere unter starkem Chlorideinfluss wie etwa in Meeresumgebungen. Heutzutage steht für jede Art von Milieu eine geeignete Duplex-Güte zur Verfügung.

## Das Korrosionshandbuch von Outokumpu

Weitere Informationen zu Korrosion und Korrosionsbeständigkeit in verschiedenen Umgebungen finden Sie im Korrosionshandbuch von Outokumpu. Sie erhalten Ihr Exemplar bei der für Sie zuständigen Vertriebsstelle.

| Outokumpu- Bezeichnung des Stahls | PRE |
|-----------------------------------|-----|
| 4307                              | 18  |
| LDX 2101 <sup>®</sup>             | 26  |
| 4404                              | 24  |
| 2304                              | 26  |
| LDX 2404 <sup>®</sup>             | 33  |
| 904L                              | 34  |
| 2205                              | 35  |
| 254 SMO <sup>®</sup>              | 43  |
| 2507                              | 43  |

In **Tabelle 5** sind PRE-Werte für verschiedene Güten aufgeführt. Bei LDX 2101<sup>®</sup> ist die Loch- und Spaltkorrosionsbeständigkeit höher als bei 1.4307. Güte 2304 liegt auf demselben Niveau wie der klassische molybdänlegierte Stahl 1.4404; 2205 liegt auf einem Niveau mit 904L. Duplex der Güte 2507 hat eine ähnliche Beständigkeit wie 254 SMO<sup>®</sup>.



**Abb. 2:** Typische kritische Lochkorrosionstemperaturen (CPT) in 1M NaCl, gemessen gemäß ASTM G150 mit Avesta-Zelle. Prüflflächen nassgeschliffen mit Korn 320. CPT variiert mit Produktform und Oberflächenausführung.

# Verarbeitung – starke Möglichkeiten

**Outokumpu Duplex bietet hervorragende Möglichkeiten für die Konstruktion anspruchsvoller, haltbarer Bauwerke. Aufgrund der hohen Festigkeit des Materials unterscheidet sich das Verarbeitungsverfahren teilweise von dem bei austenitischen oder ferritischen Stählen. Outokumpu hilft Ihnen gern bei allen technischen Detailfragen. Wir können notwendige Schulungen bereitstellen und Computersimulationen sowie weitere Anleitungen anbieten.**

## Schweißen

Outokumpu Duplex kann mit den meisten der für austenitischen Edelstahl verwendeten Methoden geschweißt werden:

- Handlichtbogenschweißen
- Wolfram-Inertgas-Lichtbogenschweißen (WIG)
- Metall-Inertgas-Schweißen (MIG)
- Lichtbogenschweißen mit Fülldrahtelektrode
- Plasma-Lichtbogenschweißen
- Unterpulverschweißen (Submerged Arc Welding, SAW)
- Weitere: Laser-, Widerstands- und Hochfrequenzschweißen

In der Regel besteht das größte Problem beim Schweißen von Outokumpu Duplex darin, die Phasenbalance in der Wärmeeinflusszone ohne Ausscheidungen aufrechtzuerhalten. Die chemische Zusammensetzung gleicht die Mikrostruktur aus; es ist wichtig, den richtigen Schweißzusatz und -hilfsstoff sowie das richtige Verfahren einzusetzen.

### Verschiedene Schweißverfahren: Grundregeln

1. Das Schweißen sollte ohne Vorwärmen erfolgen.
2. Lassen Sie das Material zwischen den Schweißintervallen abkühlen, vorzugsweise  $\leq 150\text{ °C}$ , bei 2507  $\leq 100\text{ °C}$ .
3. Duplex-Zusatzwerkstoff ist erforderlich und empfohlen; eine Ausnahme bildet LDX 2101® – hier kann in einigen Fällen ohne Zusatzwerkstoff geschweißt werden.
4. Die von Outokumpu empfohlene Lichtbogenenergie sollte eingehalten werden.
5. Die Wärmeeinbringung sollte an die Stahlgüte und an die Dicke des geschweißten Materials angepasst werden.
6. Der Kantenvorbereitungswinkel sollte etwa  $10^\circ$  höher und der Steg etwas kleiner sein als beim Schweißen austenitischer Standardstähle.



7. Beim Schweißen mit Zusatzwerkstoff ist das Härten nach dem Schweißen nicht notwendig. In Fällen, bei denen eine Wärmebehandlung in Betracht gezogen wird, etwa zum Spannungsarmglühen, sollte die Behandlung entsprechend den Temperaturangaben aus Tabelle 6 erfolgen, jedoch mit einer um 30 bis 50 °C höheren Mindesttemperatur, damit die vollständige Auflösung der intermetallischen Phase im Schweißgut gesichert ist.
8. Wolfram-Inertgas-Lichtbogenschweißen und Plasma-Lichtbogenschweißen: Die Beimischung von Stickstoff (1 bis 2 Prozent) zum Schutzgas/Spülgas ist zu empfehlen.

**Tabelle 6:** Charakteristische Wärmebehandlungstemperaturen für Duplex-Edelstähle (in °C)

|                     | LDX 2101®   | 2304       | LDX 2404®   | 2205        | 2507        |
|---------------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| Warmformgebung      | 1100 - 900  | 1100 - 900 | 1120 - 900  | 1150 - 950  | 1200 - 1025 |
| Abschreckglühen     | 1020 - 1080 | 950 - 1050 | 1000 - 1120 | 1020 - 1100 | 1040 - 1120 |
| Spannungsfreiglühen | 1020 - 1080 | 950 - 1050 | 1000 - 1120 | 1020 - 1100 | 1040 - 1120 |

**Tabelle 7:** Schweißzusätze und -hilfsstoffe

| Stahlsorte | Zusatzwerkstoff, ISO-Bezeichnung | Typische Zusammensetzung in Gew.-Prozent |      |     |     |      |
|------------|----------------------------------|--|------|-----|-----|------|
|            |                                  | C  | Cr   | Ni  | Mo  | N    |
| LDX 2101®  | 23 7 NL                          | 0.02                                     | 23.5 | 8.0 | 0.3 | 0.14 |
|            | 22 9 3 NL                        | 0.02                                     | 22.5 | 8.5 | 3.0 | 0.15 |
| 2304       | 23 7 NL                          | 0.02                                     | 23.5 | 8.0 | 0.3 | 0.14 |
|            | 22 9 3 NL                        | 0.02                                     | 22.5 | 8.5 | 3.0 | 0.15 |
| LDX 2404®  | 22 9 3 NL                        | 0.02                                     | 22.5 | 8.5 | 3.0 | 0.15 |
|            | 22 9 3 NL                        | 0.02                                     | 22.5 | 8.5 | 3.0 | 0.15 |
| 2205       | 22 9 3 NL                        | 0.02                                     | 22.5 | 8.5 | 3.0 | 0.15 |
|            | 25 9 4 NL                        | 0.02                                     | 25   | 9.5 | 3.5 | 0.25 |

### Schweißverbindungen mit anderen Stählen einschließlich Kohlenstoffstählen

Outokumpu Duplex kann problemlos mit anderen Stählen – auch Kohlenstoffstählen – verschweißt werden. Bei dem Zusatzwerkstoff kann es sich um Duplex handeln. Beim Schweißen von Duplex-Stählen an Kohlenstoffstähle ist alternativ die Verwendung eines Zusatzwerkstoffs vom Typ 23Cr13Ni2Mo möglich. Das Risiko von galvanischer Korrosion kann durch Abschirmen der Verbindungsstellen gegen Feuchtigkeit vermieden werden. In den meisten Fällen bietet ein Duplex-Zusatzwerkstoff mehr Festigkeit und bessere Korrosionsbeständigkeit. Wenn Duplex mit superaustenitischen Stählen verbunden werden soll, wenden Sie sich bitte direkt an uns. Metalle als Schweißzusatzwerkstoff zum Schweißen ähnlicher Duplex-Stähle sind in Tabelle 7 aufgeführt.

### Nachbehandlung

Um die Edelstahloberfläche wiederherzustellen und eine gute Korrosionsbeständigkeit zu erreichen, ist häufig eine Nachbehandlung nötig. Outokumpu Duplex unterstützt die verschiedenen zur Verfügung stehenden Methoden, beispielsweise Bürsten, Strahlen, Schleifen und Beizen. Welche Methode zum Einsatz kommen sollte, richtet sich nach den Arten der zu entfernenden Oberflächenfehler sowie danach, welche Anforderungen an Korrosionsbeständigkeit, Hygiene und Ästhetik gestellt werden.

### Das Schweißhandbuch von Outokumpu

Weitere Informationen zu Schweißverfahren und Nachbehandlungen finden Sie im Schweißhandbuch von Outokumpu. Sie erhalten Ihr Exemplar bei der für Sie zuständigen Vertriebsstelle.

## Umformung

Outokumpu Duplex eignet sich für alle Umformungstechniken. Die im Vergleich zu austenitischem Edelstahl höhere Festigkeit und geringere Dehnung sorgen jedoch für einige Unterschiede beim Umformungsverhalten: Im Allgemeinen ist höherer Kraftaufwand erforderlich. Da andererseits bei Duplex-Konstruktionen häufig geringere Materialdicken eingesetzt werden, kann der Kraftaufwand ähnlich wie bei austenitischem Stahl sein. Wenn das Umformverfahren noch nicht feststeht, empfehlen wir die Wahl der für Duplex-Edelstähle am besten geeigneten Methode.

## Zerspanung

Die hohe Festigkeit wirkt sich natürlich auf die Zerspanungsfähigkeit aus, jedoch nicht so stark zu erwarten wäre. Hier einige Informationen, die im Zusammenhang mit dem Zerspanen von Duplex-Stahl nützlich sind:

### Stabiler Aufbau

Aufgrund der höheren Festigkeit sind auch die Zerspanskräfte stärker. Dadurch steigt das Risiko für Vibrationen. Eine stabile Werkstückfixierung ist deshalb sehr wichtig. Verwenden Sie die kürzestmögliche Werkzeugverlängerung sowie eine gute und feste Einspannung.

## Scharfe Werkzeuge

Verwenden Sie Schneidwerkzeuge mit positiver Geometrie. Die Duplex-Güten sprechen sehr stark auf Verfestigung an. Bei stumpfer Geometrie entsteht eine harte Oberfläche mit der Folge einer kürzeren Lebensdauer des Werkzeuges.

### Vermeiden von Aufbauschneiden

Edelstahl neigt dazu, am Werkzeug zu haften. Dies kann bei zu geringer Schnittgeschwindigkeit zu Problemen führen. Der größte Unterschied zwischen Kohlenstoffstahl und Edelstahl besteht beim Zerspanen darin, dass mit Edelstahl Probleme entstehen, wenn die Schnittgeschwindigkeit zu gering ist. Die Oberflächenqualität ist in diesem Fall weniger gut und die Lebensdauer des Werkzeugs kürzer. Das Problem lässt sich durch Erhöhen der Schneidgeschwindigkeit lösen.

### LDX 2101®

Die Lean-Duplex-Güte LDX 2101® hat im Vergleich zu anderen Duplex-Güten eine bessere Zerspanungsfähigkeit. Selbst im Vergleich mit den niedriglegierten austenitischen Standardgüten lässt sich LDX 2101® leichter zerspanen.

**Wenn Sie weitere Informationen zu verschiedenen Aspekten wünschen, setzen Sie sich bitte mit uns in Verbindung.**

Tabelle 8

|                        | Zu beachten  |
|------------------------|--|
| <b>schneiden</b>       | Die maximale Dicke für Scheren und Lochstanzen liegt bei 80 bis 85 Prozent der maximalen Dicke von austenitischem Stahl.   |
| <b>walzbiegen</b>      | Im Vergleich zu anderen Edelstählen ist mehr Biegekraft erforderlich. Durch den Einsatz dünnerer Materialdicken ist dieser Effekt jedoch kleiner, als zu erwarten wäre. Aufgrund der höheren Festigkeit ist die Rückfederung beim Walzbiegen hoch. |
| <b>abkanten</b>        | Vermeiden Sie einen kleinen Biegeradius. Das Verhältnis zwischen dem Innenradius und der Blechdicke sollte nicht unter 2 liegen.   |
| <b>tiefziehen</b>      | Wenn das Ziehen dominiert, ist die Formbarkeit vergleichbar mit der von austenitischem Edelstahl. Wenn das Dehnen dominiert, ist die Formbarkeit eher so wie bei ferritischen Stählen.   |
| <b>rollformen</b>      | Die hohe Festigkeit des Blechs muss bei der Gestaltung der Rollen berücksichtigt werden. Bei sachgemäßer Vorgehensweise bereitet das Rollformen von Duplex-Stahl keine Schwierigkeiten.  |
| <b>Werkzeugeinsatz</b> | Setzen Sie starke, robuste Werkzeuge ein (Härte von HRC über 500, Ra-Wert vorzugsweise unter 0,2 Mikrometer).  |
| <b>Kühlschmierung</b>  | Aufgrund der hohen Festigkeit von Outokumpu Duplex und des extremen Drucks sind Zusätze bei komplexen Umformungen hilfreich.   |



Reserve-Lenkkopf von Cane Creek für World Bicycle Relief, gefertigt aus LDX 2101®.

## Produktsortiment und Serviceleistungen

Outokumpu Duplex ist in verschiedenen Produktformen und Maßen erhältlich, ganz auf Ihre Anforderungen abgestimmt.

- HRP (P), Quarto-Bleche
- CPP (W), warmgewalzte Bänder und Bandbleche
- CR (K), kaltgewalzte Bänder und Bandbleche
- Knüppel, Walzdraht, Stabstahl und Betonstahl
- Geschweißte Rohre, Formstücke und Gewindefittings
- Strukturelle Abschnitte, DUPROF™
- Verbindungselemente und Verankerungen

Unsere Mehrwertdienstleistungen vereinfachen die Durchführung Ihres Projekts und erschließen Möglichkeiten für Kosteneinsparungen in maßgebenden Bereichen.

- Kantenvorbereitung
- Formschnitt
- Biegeumformung
- Oberflächenveredlung: 2B, 2E, 1D
- Polierung
- Konstruktionspakete
- Vorfertigung
- Modifizierte chemische Stahlu Zusammensetzung
- Geschlitzte Bänder
- Paketlösungen
- Schweißtipps
- Technische Unterstützung/Projektverwaltung

### „2B“-Oberflächenqualität – perfekt für den Einsatz in der Nahrungs- und Genussmittelindustrie sowie im Gesundheitswesen.

Bei Oberflächeneigenschaften ist nicht nur das Aussehen entscheidend. Die Oberflächenqualität wirkt sich auf die Korrosionsbeständigkeit und auch auf



die Reinigungsfreundlichkeit (in Bezug auf Schmutz und Bakterien) aus. In der Nahrungs- und Genussmittelbranche sowie im Gesundheitssektor sind diese Eigenschaften von großer Bedeutung. Outokumpu bietet bei Duplex-Edelstählen zusätzlich eine 2B-Oberflächenqualität. Die Oberflächenanforderungen in der Industrie werden damit meist erfüllt, ohne dass weitere Oberflächenbehandlungen notwendig sind; was eine Zeit- und Kostenersparnis bedeutet.

**Hier finden Sie unser Produktprogramm:**  
[www.outokumpu.com/prodprog](http://www.outokumpu.com/prodprog)

Tabelle 9

| Produkt   | Art des Verarbeitungsablaufs   | Oberflächenqualität   |
|-----------|--|---|
| <b>1D</b> | warmgewalzt, wärmebehandelt, gebeizt; rau und matt.                            | Standard bei den meisten Stahlgüten, damit gute Korrosionsbeständigkeit erreicht wird; außerdem gängige Oberflächenqualität für die Weiterverarbeitung. |
| <b>2E</b> | kaltgewalzt, wärmebehandelt, mechanisch entzundert und danach gebeizt.         | Rau und matt; bei dünnen warmgewalzten Bändern kann ein leichter Kaltstich durchgeführt werden.   |
| <b>2B</b> | kaltgewalzt, wärmebehandelt, gebeizt, kalt nachgewalzt (wie bei Avesta Works). | Glatte Oberfläche mit leichtem Glanz.   |

Dieses Dokument stellt keine Empfehlung oder vertragliche Verpflichtung seitens Outokumpu dar. Die Produktauswahl liegt im Verantwortungsbereich der Ausschreiber, Konstrukteure und Bauausführer. Allein sie sind verantwortlich dafür, dass das fertige Element sich für den beabsichtigten Zweck eignet. Es liegt in der alleinigen Verantwortung des Kunden, dafür zu sorgen, dass das Produkt für den beabsichtigten Zweck geeignet ist. Outokumpu gibt in dieser Hinsicht keinerlei Garantie.

Copyright© Outokumpu Group. Alle Rechte vorbehalten.

## Activating Your Ideas

*Outokumpu ist ein weltweit führender Anbieter von Edelstahl. Unsere Vision ist es, zur unangefochtenen Nummer eins zu werden. Kunden aus vielfältigen Branchen setzen unseren Edelstahl und unsere Serviceleistungen überall auf der Welt ein. Edelstahl ist als vollständig recyclingfähiges, wartungsfreies sowie festes und haltbares Material ein wichtiger Baustein für eine nachhaltige Zukunft.*

*Das Besondere an Outokumpu ist die uneingeschränkte Kundenorientierung, angefangen von der Forschung und Entwicklung bis hin zur Lieferung. Sie haben die Idee. Wir bieten dafür Edelstahl in Top-Qualität, erstklassiges technisches Know-how und Spitzen-Support. Wir realisieren Ihre Ideen.*

