

Schweißen



WELDOX[®]
KONSTRUKTIONSBLECH

HARDOX[®]
VERSCHLEISSBLECH



Schweißen von WELDOX® und HARDOX®

Konstruktionsstahl WELDOX und Verschleißstahl HARDOX zeichnen sich durch hohe Beanspruchbarkeit und hervorragende Schweißbarkeit aus. Diese Werkstoffe lassen sich mit jeder Art von schweißbarem Stahl und mit jedem üblichen Verfahren verschweißen.

Diese Broschüre beschreibt den effektivsten Weg für die Realisierung anspruchsvoller Schweißverbindungen. Unter anderem werden Hinweise bezüglich Arbeitstemperatur, Streckenenergie, Zusatzwerkstoffe und Schutzgas gegeben. Die richtige Arbeitsweise beim Schweißen ist Voraussetzung für eine optimale Nutzung der ausgezeichneten Grundwerkstoffeigenschaften von WELDOX und HARDOX.

Wichtig beim Schweißen

Vor dem Schweißen sind Verunreinigungen wie Rost, Feuchtigkeit und Öl aus der Schweißfuge zu entfernen. Außer guter Schweißhygiene sind folgende Aspekte von großer Bedeutung:

- Arbeitstemperatur
- Streckenenergie
- Zusatzwerkstoffe
- Schutzgas
- Schweißfolge und Form und Abmessungen der Schweißfuge

Arbeitstemperatur

Um Wasserstoffrisse zu vermeiden, ist die Wahl der richtigen Arbeitstemperatur wichtig. Die Tabelle auf Seite 5 zeigt unsere Empfehlungen.

So beeinflusst die Legierung die Wahl der Arbeitstemperatur

Die besondere und gezielte Kombination der Legierungselemente optimiert die mechanischen Eigenschaften von WELDOX und HARDOX.

Diese Kombination wirkt sich ebenfalls auf die Arbeitstemperatur des Stahls beim Schweißen aus. Bei Berechnung der Arbeitstemperatur über das Kohlenstoffäquivalent wird die Wirkung von Legierungskomponenten auf die Schweißbedingungen deutlich. Üblicherweise wird das

Kohlenstoffäquivalent mit CEV oder CET bezeichnet und mit nachstehenden Gleichungen berechnet. Die Legierungsbestandteile, entsprechend der Prüfbescheinigungen, sind dabei über ihre Gewichtsprozentage definiert. Ein höheres Kohlenstoffäquivalent fordert im Normalfall eine höhere Arbeitstemperatur. Typische Werte für Kohlenstoffäquivalente gehen aus unseren Produktdatenblättern hervor.

$$\text{CEV} = C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{(\text{Mo} + \text{Cr} + \text{V})}{5} + \frac{(\text{Ni} + \text{Cu})}{15} \quad (\%)$$

$$\text{CET} = C + \frac{(\text{Mn} + \text{Mo})}{10} + \frac{(\text{Cr} + \text{Cu})}{20} + \frac{\text{Ni}}{40} \quad (\%)$$

Wasserstoffrisse

WELDOX und HARDOX sind beständiger gegen Wasserstoffrisse als viele andere hochfeste Stahlsorten, da sie geringe Kohlenstoffäquivalente aufweisen. Durch Berücksichtigung unserer Empfehlungen wird die Gefahr der Entstehung von Wasserstoffrissen minimiert.

Zwei Regeln zur Vermeidung von Wasserstoffrissen:

- **Reduzieren des Wasserstoffgehalts in und in der Nähe der Schweißnaht**
 - Konsequente Einhaltung der richtigen Arbeitstemperatur
 - Zusatzwerkstoffe mit geringem Wasserstoffgehalt
 - Saubere Schweißfugen
- **Minimieren der Spannungen im Schweißverband**
 - Die Festigkeit der verwendeten Zusatzwerkstoffe soll nicht höher als unbedingt notwendig sein.
 - Durch die Wahl der richtigen Schweißfolge sollen Eigenspannungen minimiert werden.
 - Spaltbreiten im Schweißverband dürfen maximal 3 mm betragen.

Die in dieser Broschüre enthaltenen Vorschläge sind allgemeiner Art. Die SSAB Oxelösund AB übernimmt keine Verantwortung hinsichtlich der Eignung im Einzelfall. Erforderliche Anpassungen an die jeweiligen Voraussetzungen fallen somit in den Zuständigkeitsbereich des Anwenders.

Arbeitstemperaturen für WELDOX und HARDOX

Die beim Schweißen geforderte Mindestarbeitstemperatur zeigt nachstehendes Diagramm. Soweit nicht anders angegeben, beziehen sich diese Werte auf die Verwendung niedrig legierter Zusatzwerkstoffe.

- Werden zwei ungleich dicke Bleche derselben Stahlsorte miteinander verschweißt, bestimmt das dickere Blech für die Wahl der Arbeitstemperatur.
- Werden unterschiedliche Stahltypen miteinander verschweißt, bestimmt das Blech mit der höchsten Anforderung die Gesamt-Arbeitstemperatur.

Achtung! Die Tabelle geht von einfacher Blechdicke beim Schweißen mit einer Streckenenergie von 1,7 kJ/mm aus. Weitere Informationen über einfache Blechdicke erhalten Sie mit dem Download von Techsupport #61 von www.ssabox.se.

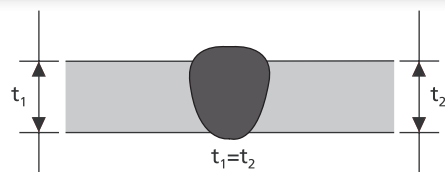
Niedrigste empfohlene Arbeitstemperatur für einfache Blechdicke [mm]

	3	10	20	30	40	50	60	70	80	90	120	130
WELDOX 700				75°C				100°C				
WELDOX 900*		75°C				100°C						
WELDOX 960*	75°C		100°C									
WELDOX 1030*												
WELDOX 1100*		75°C	125°C									
WELDOX 1300*	100°C											
HARDOX HiTuf						100°C			125°C			
HARDOX 400			75°C		100°C		175°C			200°C		
HARDOX 450			125°C			150°C						
HARDOX 500			175°C			200°C						
HARDOX 550	125°C		175°C		200°C							
HARDOX 600	150°C		175°C									
HARDOX 600 Rostfreie Zusatzwerkstoffe				100°C								

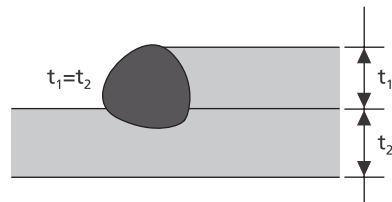
Raumtemperatur (ca 20 °C)
 Blechdicken außerhalb des Lieferprogrammes
 Nur rostfreie Zusatzwerkstoffe. Arbeitstemperatur mind. 100 °C

Höchste empfohlene Zwischenlagentemperatur

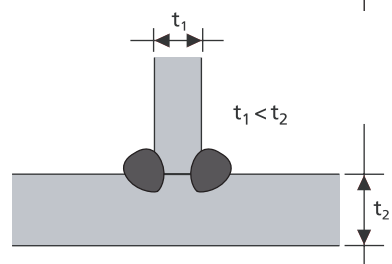
WELDOX 700**	300°C
WELDOX 900**	300°C
WELDOX 960**	300°C
WELDOX 1030	200°C
WELDOX 1100	200°C
WELDOX 1300	200°C
HARDOX HiTuf**	300°C
HARDOX 400	225°C
HARDOX 450	225°C
HARDOX 500	225°C
HARDOX 550	225°C
HARDOX 600	225°C



$t_1 = t_2$ (gemessen in mm)
Die entscheidende Blechdicke ist t_1 bzw. t_2 , vorausgesetzt derselbe Stahltyp kommt zur Anwendung.



$t_1 = t_2$ (gemessen in mm)
Die entscheidende Blechdicke ist t_1 bzw. t_2 , vorausgesetzt derselbe Stahltyp kommt zur Anwendung.



$t_1 < t_2$ (gemessen in mm)
Die entscheidende Blechdicke ist t_2 , vorausgesetzt derselbe Stahltyp kommt zur Anwendung.

* Der Zusatzwerkstoff steuert die Arbeitstemperatur, wenn dieser im Vergleich zum Blech ein höheres Kohlenstoffäquivalent hat.

** Für WELDOX 700-960 und HARDOX HiTuf können in gewissen Fällen Zwischenlagentemperaturen von bis zu ca. 400 °C gewählt werden. In diesen Fällen empfiehlt sich die Anwendung unserer Software WeldCalc.

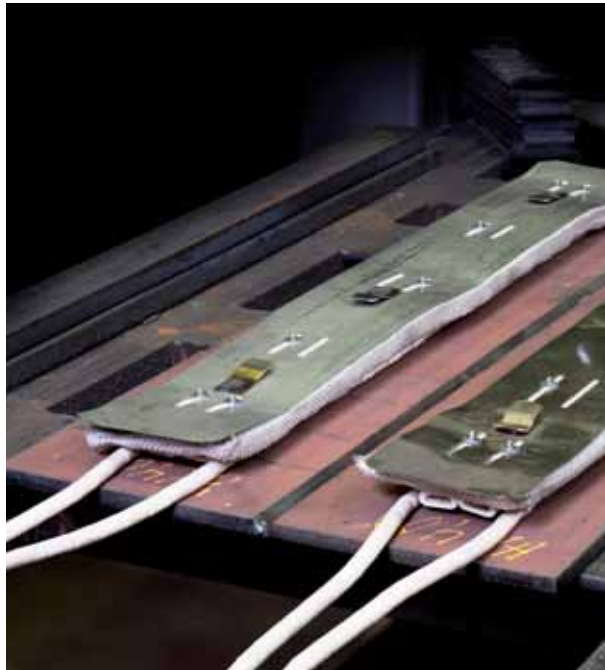
Hohe Luftfeuchtigkeit oder Ausgangstemperaturen unter $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ erfordern eine Erhöhung der Mindestarbeitstemperaturen (s. Tabelle) um $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dies gilt auch für fest eingespannte Schweißverbände und bei einer Streckenergie von $1,0\text{ kJ/mm}$.

Die gemäß Tabelle auf der vorstehenden Seite niedrigsten empfohlenen Arbeitstemperaturen werden durch Strecken-

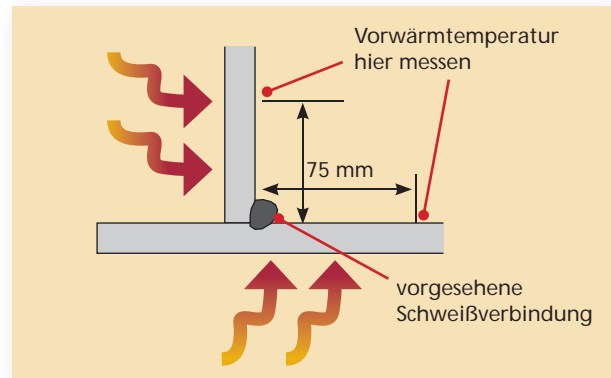
energien über $1,7\text{ kJ/mm}$ nicht beeinflusst. Alle Angaben setzen voraus, dass die Schweißverbände an der Luft abkühlen. Die empfohlenen Arbeitstemperaturen gelten auch für Heftschweißungen und Wurzellagen. Heftschweißungen müssen jeweils mindestens 50 mm lang sein. Der Abstand zwischen einzelnen Heftschweißungen kann je nach Bedarf variieren.

Erzielen und Messen erhöhter Arbeitstemperaturen

Eine erhöhte Arbeitstemperatur kann auf verschiedene Art erzielt werden. Um den Schweißverband gelegte elektrische Heizmatten sind oft die beste Methode, da sie eine gleichmäßige Erwärmung des Bereiches gewährleisten. Die Arbeitstemperatur kann z. B. mit Kontaktthermometer gemessen werden.



Verwendung von Heizmatten



Die Temperatur ist am dickeren Blech des Schweißverbandes zu messen. Die Messung erfolgt bei einem 25 mm starken Blech zwei Minuten nach dem Erwärmen. Ist das Blech $12,5\text{ mm}$ dick, wird die Temperatur nach einer Minute gemessen etc. Die Zwischenlagentemperatur kann am Schweißgut oder am unmittelbar anschließenden Grundwerkstoff gemessen werden.

Streckenenergie

Schweißen mit empfohlenen Streckenenergien führt zu guten mechanischen Eigenschaften in der Wärmeeinflusszone (WEZ).

Die Wärmezufuhr durch den Schweißprozess beeinflusst die mechanischen Eigenschaften des Schweißverbandes. Dies wird anhand der Streckenenergie (Q) beschrieben, die mit nachstehender Formel berechnet wird.

$$Q = \frac{k \times U \times I \times 60}{v \times 1000}$$

Q = Streckenenergie [kJ/mm]

U = Spannung [V]

I = Stromstärke [A]

v = Schweißgeschwindigkeit [mm/min]

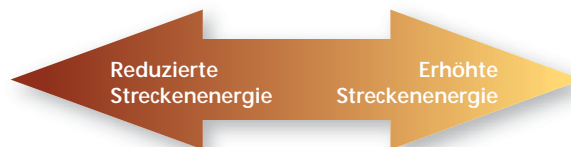
k = Thermische Effektivität des Schweißverfahrens

Unterschiedliche Schweißmethoden sind von unterschiedlicher thermischer Effektivität (k). Siehe nachstehende Tabelle für Annäherungswerte dieser Eigenschaft:

Thermische Effektivität des Schweißverfahrens	k
MMA	0,8
MAG, sämtliche Typen	0,8
SAW	1,0
TIG	0,6

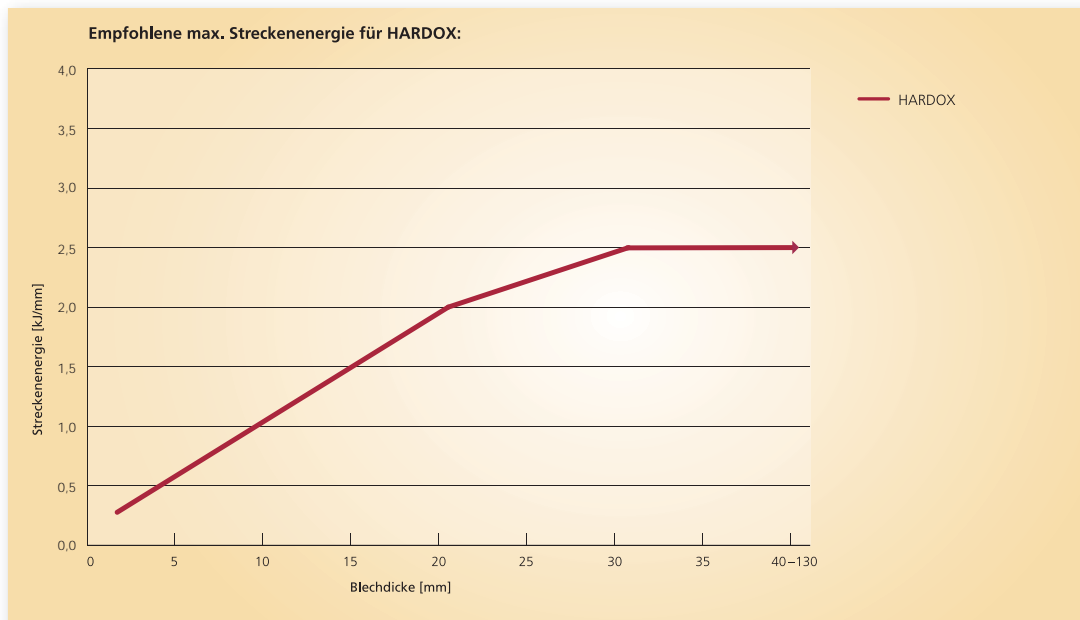
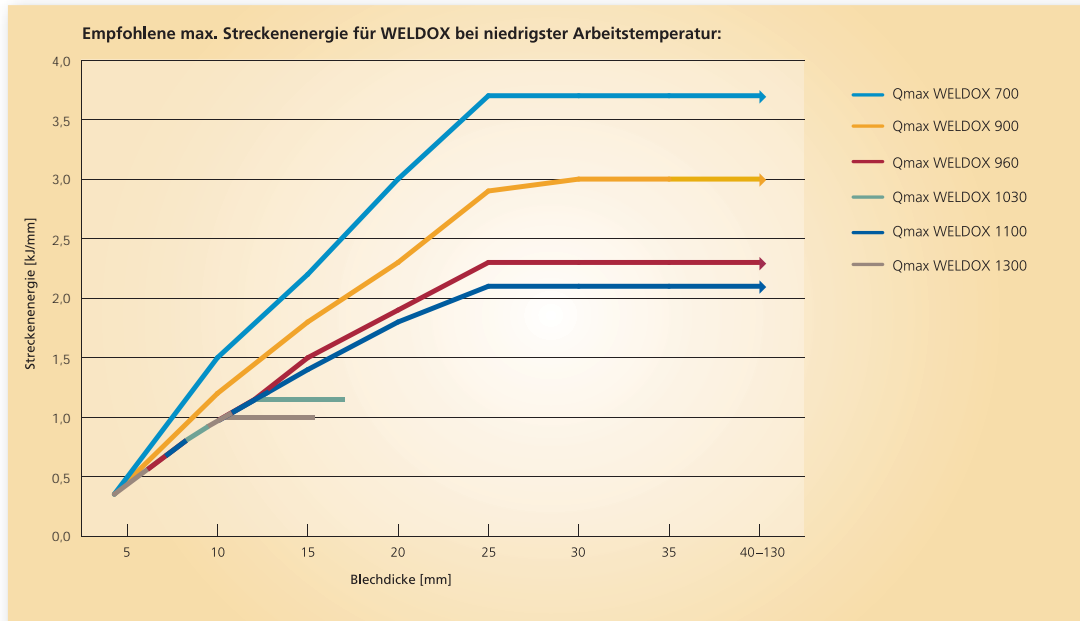
Auswirkungen auf die Schweißverbindungen

- Höhere Zähigkeit
- Erhöhte Festigkeit
- Geringere Verformung
- Geringere Eigenspannungswerte
- Schmalere WEZ



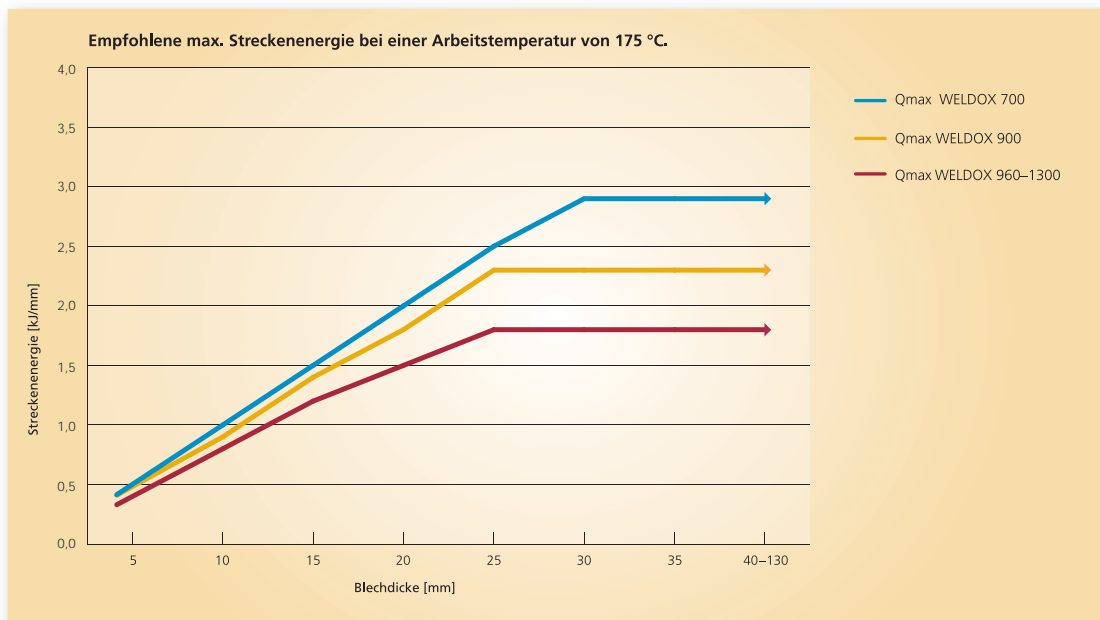
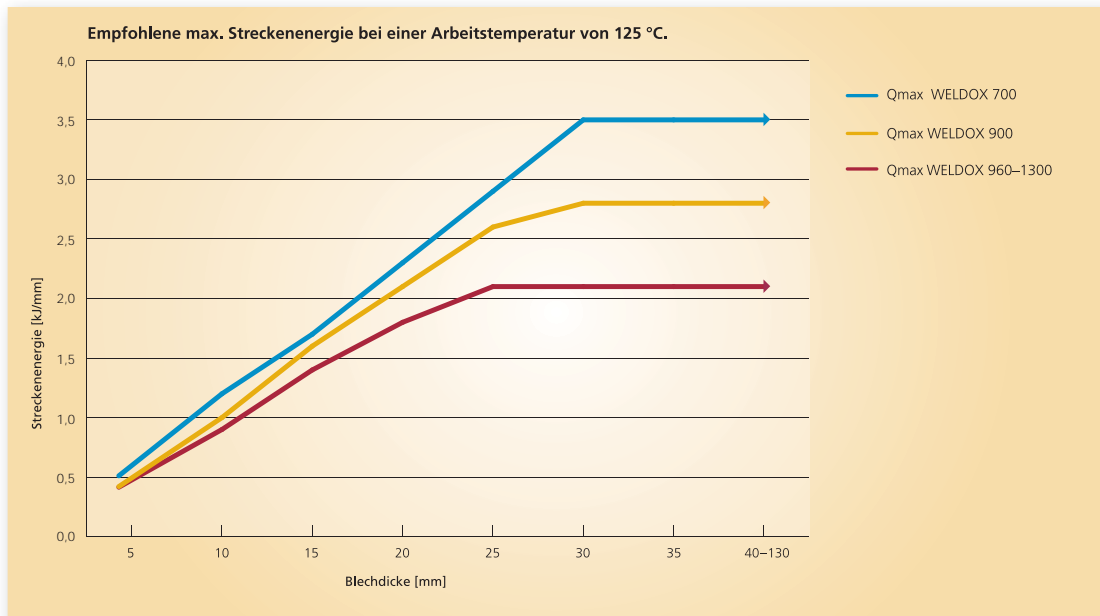
- Höhere Produktivität für herkömmliche Schweißverfahren

Für WELDOX Konstruktionsstahl gründen sich unsere Empfehlungen auf typische Werte der Schlagzähigkeit in der WEZ von mindestens 27 J bei -40 °C. HARDOX Verschleißblech stellt oft geringere Anforderungen an die Schlagzähigkeit des Schweißverbandes. Die Empfehlungen für HARDOX sind deshalb als Näherungswerte zu betrachten.



Schweißen bei höheren Arbeitstemperaturen

Hohe Arbeitstemperaturen, die beispielsweise bei Mehrlagenschweißungen auftreten können, beeinflussen die empfohlene Streckenenergie. Nachstehende Abb. zeigt die empfohlenen Streckenenergien für die Arbeitstemperaturen 125 °C und 175 °C.



Für Arbeitstemperaturen über 175 °C kann das Softwareprogramm WeldCalc angewandt werden. WeldCalc wurde von einigen der weltweit führenden Experten für Schweißen von Grobblech entwickelt. Es ist kostenlos erhältlich unter www.ssabox.com.

Zusatzwerkstoffe

Unlegierte, niedriglegierte und rostfreie Zusatzwerkstoffe können für WELDOX und HARDOX verwendet werden.

Festigkeit von unlegierten und niedriglegierten Zusatzwerkstoffen

Die Festigkeit des Zusatzwerkstoffes wird mit Hilfe der umseitigen Abb. gewählt. Zusatzwerkstoffe mit geringer Festigkeit bieten oft mehrere Vorteile, z. B. höhere Zähigkeit des Schweißgutes, höhere Beständigkeit gegen Wasserstoffrisse und geringere Eigenspannung im Schweißverband. Schweißen mit Zusatzwerkstoffen unterschiedlicher Festigkeit ist besonders vorteilhaft bei Mehrlagenschweißungen von WELDOX 700-1300. Heftschweißungen und erste Schweißlagen werden mit niedrigfestem Zusatzwerkstoff hergestellt.

Die übrigen Schweißlagen werden mit hochfestem Zusatzwerkstoff geschweißt. Dies steigert die Zähigkeit und den Widerstand gegen Wasserstoffrisse. Die Kohlenstoffäquivalente für Zusatzwerkstoffe mit Streckgrenzen >700 MPa können höher sein als die für die Bleche.

Die höchste empfohlene Arbeitstemperatur - entweder für eines der Bleche oder für den Zusatzwerkstoff - ist anzuwenden. HARDOX wird mit Zusatzwerkstoff niedrigerer Festigkeit gemäß umstehender Abbildung geschweißt.



Zusatzwerkstoff mit höherer Festigkeit



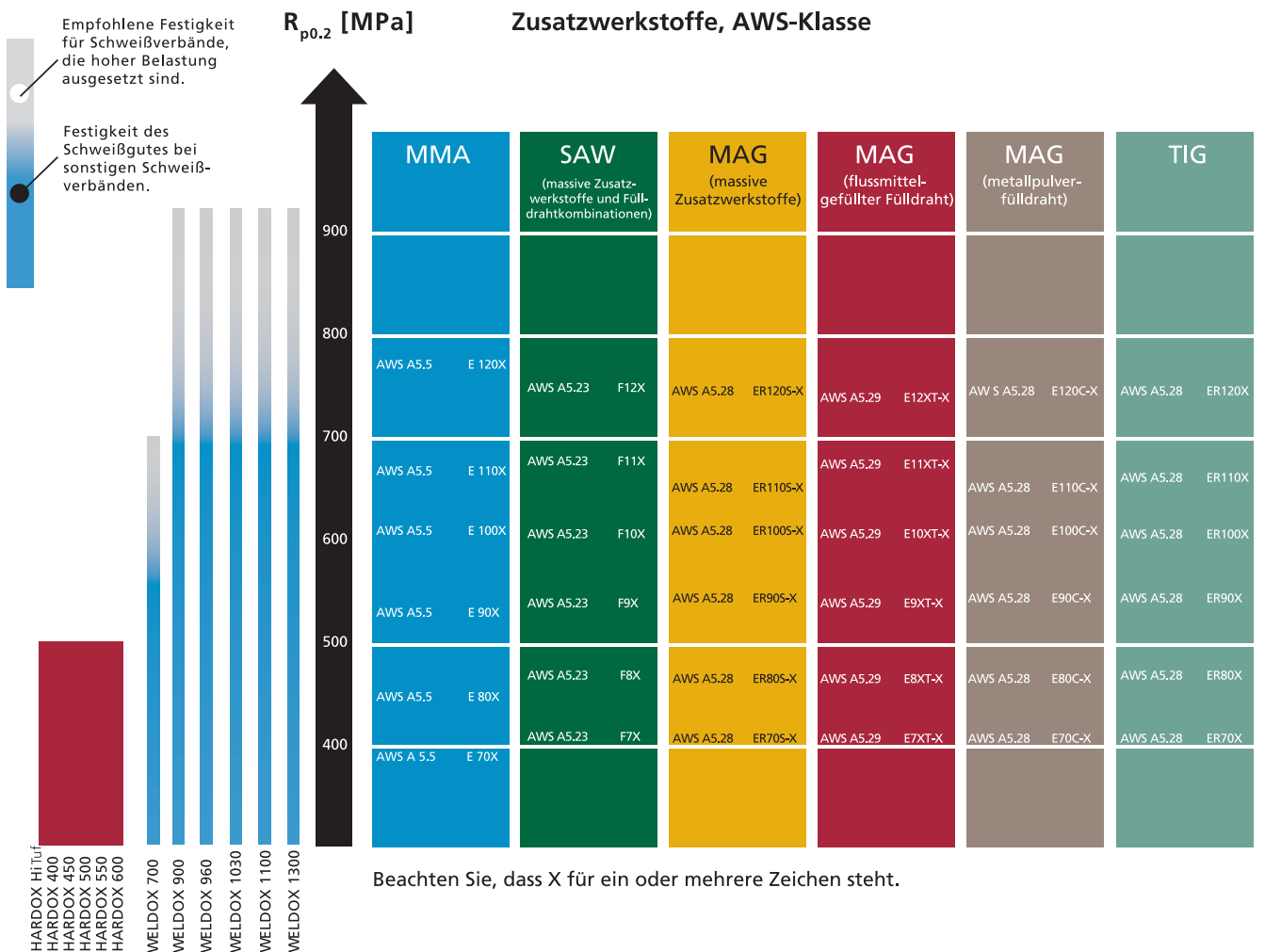
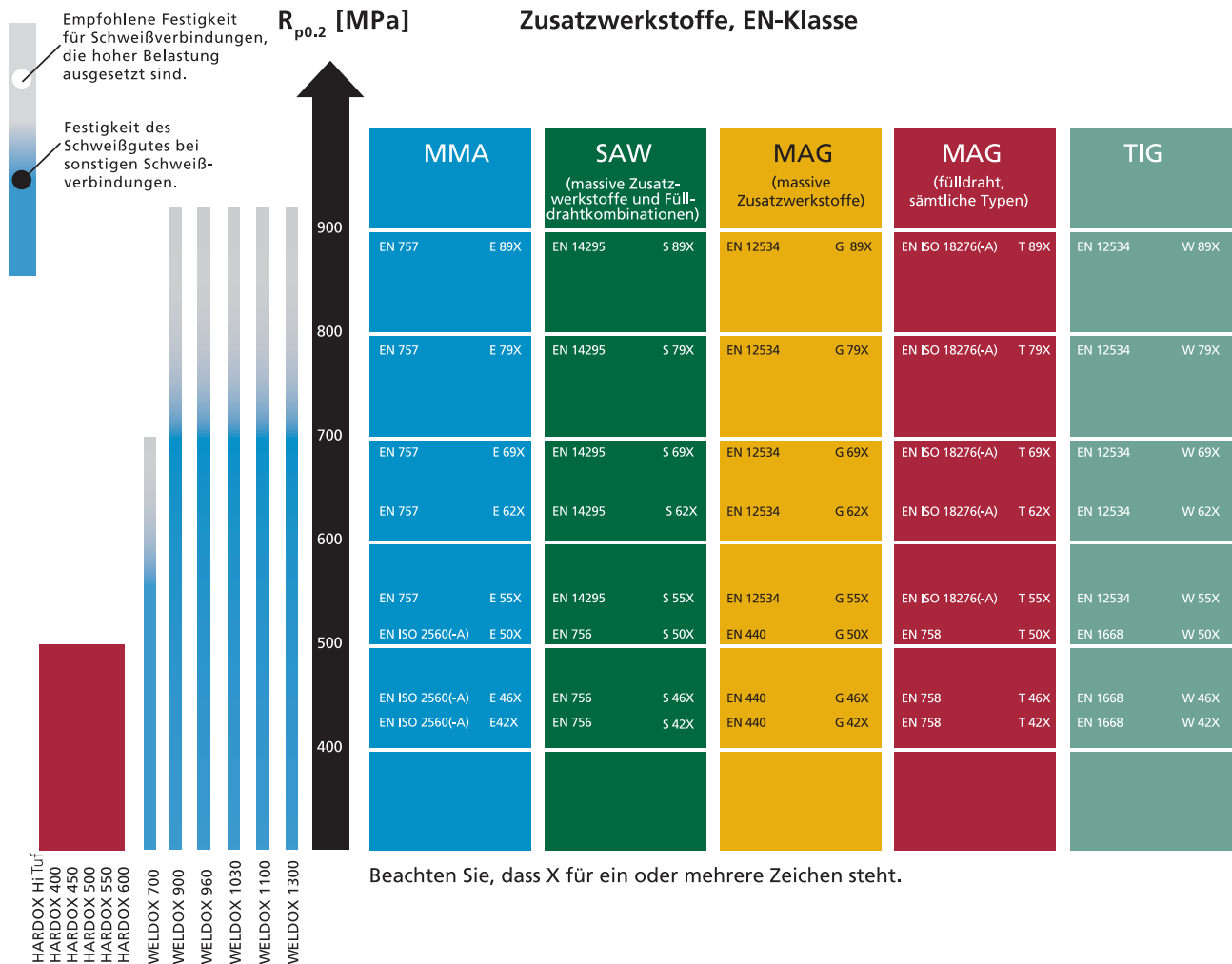
Zusatzwerkstoff mit geringerer Festigkeit

Wasserstoffgehalt von unlegierten und niedrig legierten Zusatzwerkstoffen

Der Wasserstoffgehalt sollte beim Schweißen mit unlegierten und niedriglegierten Zusatzwerkstoffen weniger oder gleich 5 ml Wasserstoff je 100 g Schweißgut betragen. Massive Zusatzwerkstoffe wie beim MAG- und TIG-Schweißen können zu diesen niedrigen Wasserstoffgehalten im Schweißgut führen.

Beispiele für Zusatzwerkstoffe finden Sie bei www.ssabox.com unter TechSupport #60. Die Lagerung der Zusatzwerkstoffe gemäß den Empfehlungen des Herstellers hält den Wasserstoffgehalt auf dem vorgesehenen Niveau. Dies gilt vor allem für Fülldraht und Flussmittel.

Informationen zum Wasserstoffgehalt bei anderen Zusatzwerkstoffen erhalten Sie vom jeweiligen Hersteller.



Rostfreie Zusatzwerkstoffe

Für sämtliche Produkte können rostfreie, austenitische Zusatzwerkstoffe verwendet werden. Dies ermöglicht laut Diagramm eine Arbeitstemperatur von +20°C mit Ausnahme bei HARDOX 600. Wir empfehlen in erster Linie Zusatzwerkstoffe gem. AWS 307 und in zweiter Linie gem. AWS 309. AWS 307 ist beständiger gegen Heißrisse als

AWS 309. Es sei darauf hingewiesen, dass Hersteller nur selten den Wasserstoffgehalt bei rostfreien Zusatzwerkstoffen angeben, da er das Arbeitsergebnis nicht in dem Maße beeinflusst wie bei unlegierten und niedriglegierten Zusatzwerkstoffen. Vorschläge zu verschiedenen rostfreien Zusatzwerkstoffen finden Sie bei www.ssabox.com unter TechSupport#60.



Beachten Sie, dass X für ein oder mehrere Zeichen steht.



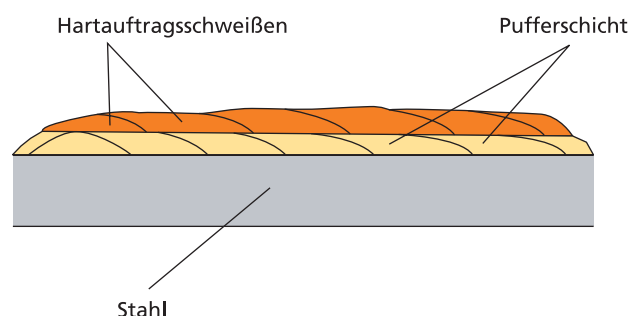
Beachten Sie, dass X für ein oder mehrere Zeichen steht.

Hartauftragsschweißen

Hartauftragsschweißen mit speziellen Zusatzwerkstoffen erhöht die Verschleißfestigkeit von hochbeanspruchten Flächen oder Schweißnähten. Sowohl die Angaben für den verwendeten Zusatzwerkstoff als auch die allgemeinen Empfehlungen für WELDOX und HARDOX sind zu berücksichtigen.

Es empfiehlt sich, eine Pufferschicht von besonders hoher Zähigkeit zwischen dem Grundwerkstoff oder dem normalen Schweißgut und der Hartauftragsschicht ein-

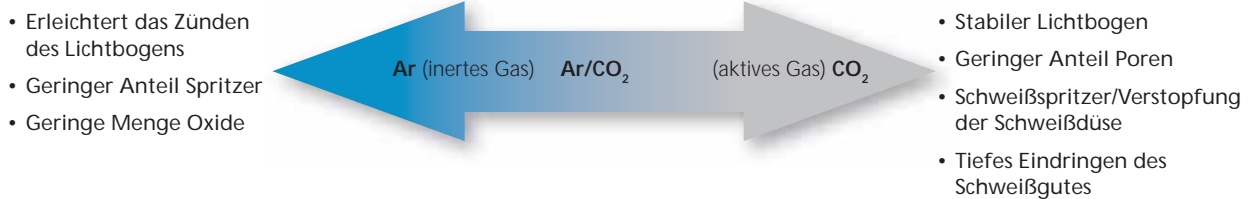
zuschweißen. Bei der Wahl des Zusatzwerkstoffes für die Pufferschicht sind die Schweißempfehlungen für WELDOX- und HARDOX-Stahl zu beachten, z.B. rostfreie Zusatzwerkstoffe gem. AWS 307 und AWS 309.



Schutzgas

Als Schutzgas wird überwiegend Ar/CO₂ eingesetzt. Schweißbedingungen und gewünschte Effekte bestimmen die Wahl der Schutzgasmischung.

Auswirkungen verschiedener Schutzgasmischungen



Verfahrenstypische Beispiele für die Anwendung verschiedener Schutzgasarten zeigt nachfolgende Tabelle. Bei allen Varianten von MAG-Schweißungen kann allgemein eine Schutzgasmischung von 15-25% CO₂ verwendet werden.

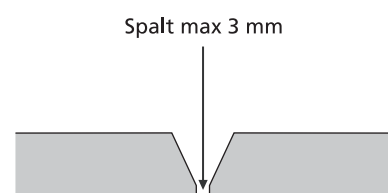
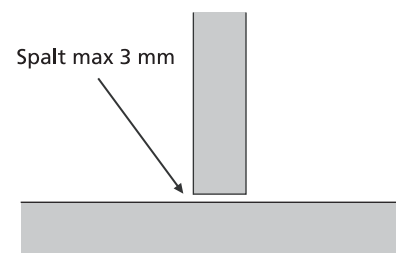
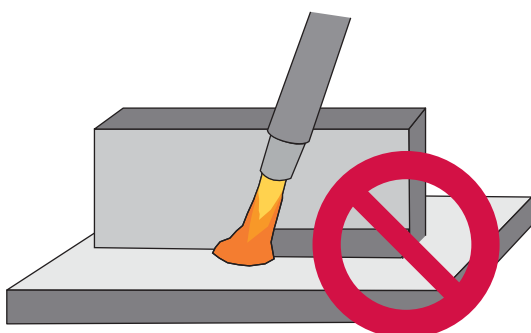
Schweißverfahren	Lichtbogentyp	Schutzgas (Gew.-%)
MAG, Massivdraht	Kurzlichtbogen	Ar + 15-25 % CO ₂
MAG, Fülldraht, mit Metallpulver gefüllt		
MAG, Massivdraht	Sprühlichtbogen	Ar + 8-25 % CO ₂
MAG, Fülldraht, mit Metallpulver gefüllt		
MAG, Fülldraht, mit Flußmittel gefüllt	Kurzlichtbogen	Ar + 15-25 % CO ₂ , or pure CO ₂
MAG, Fülldraht, mit Flußmittel gefüllt	Sprühlichtbogen	Ar + 8-25 % CO ₂
MAG, alle Verfahren	Alle Lichtbogentypen	Ar + 15-25 % CO ₂
WIG		Reines Argon

Bei Schweißverfahren auf Schutzgasbasis hängt der Schutzgasstrom von der jeweiligen Schweißsituation ab. Nach einer allgemeinen Richtlinie ist der Schutzgasstrom, gemessen in l/min gleich groß wie der Innendurchmesser der Gasdüse in mm anzusetzen.

Schweißfolgen und Spaltgröße

Empfehlungen zur Vermeidung von Wasserstoffrissen in Schweißverbindungen:

- Start- und Stoppsequenzen nicht in einer Ecke ansetzen. Starten und Stoppen möglichst mindestens 5-10 cm von der Ecke.
- Der Spalt der Schweißfuge sollte max. 3 mm betragen.



Schweißen auf WELDOX- und HARDOX-Primer



Qualitativ hochwertige Schweißverbindungen erfordern das Entfernen der Primerschicht.

Aufgrund des geringen Zinkgehaltes kann direkt auf dem WELDOX- und HARDOX-Primer geschweißt werden.

Der Primer lässt sich aber auch im Schweißnahtbereich einfach abbürsten oder – schleifen. Das bringt den Vorteil der Reduzierung von Poren im Schweißgut, besonders dann, wenn in anderen Lagen als horizontal gearbeitet wird.

Der Porenanteil im Schweißgut erhöht sich geringfügig, wenn die Primerschicht im Nahtbereich belassen wird. Die Schweißverfahren MAG, Fülldrahtschweißen mit Flussmittel und MMA haben die geringste Porosität beim Schweißen direkt auf dem Primer gezeigt.

Bei allen Schweißarbeiten ist für gute Be- und Entlüftung zu sorgen, um Gefährdung des Schweißers und dessen Umfeld durch Staub- und Gaspartikel des Primers zu vermeiden.

Für weitere Informationen zu diesem Thema können Sie TechSupport #25 von der Internetadresse www.ssabox.com herunterladen.

Spannungsfreiglühen

Spannungsfreiglühen von HARDOX HiTuf und WELDOX 700-900 ist zwar möglich, aber selten erforderlich. Andere HARDOX- oder WELDOX-Güten sollten nicht spannungsfrei geglüht werden, da dies die mechanischen Eigenschaften verschlechtern kann.

Mehr Information hierzu finden Sie im Schweißhandbuch von SSAB Oxelösund. Es kann über www.ssabox.com bestellt werden.

SSAB Oxelösund – eine Tochtergesellschaft des Konzerns SSAB Swedish Steel – ist der weltweit führende Hersteller von vergütetem Grobblech, das unter den bekannten Markennamen HARDOX® Verschleißblech, WELDOX® Konstruktionsstahlblech, ARMOX® Schutzblech und TOOLOX® Vorgehärteter Werkzeug- und Maschinenstahl vertrieben wird. Diese Stähle zeichnen sich durch ihre hohe Festigkeit und Zähigkeit aus. Voraussetzungen dafür sind besondere Stahlreinheit und spezielle Behandlungen.

SSAB Oxelösund konzentriert sich ausschließlich auf die Entwicklung von vergüteten Stählen. Mit einer starken lokalen Präsenz in über 45 Ländern bieten wir unseren Kunden hochwertigen Stahl sowie kaufmännischen und technischen Support.

Um weitere Informationen zu erhalten, können Sie uns kontaktieren oder unsere Website www.ssabox.com besuchen.

SSAB Oxelösund
SE-613 80 Oxelösund
Schweden

Telefon: +46 155-25 40 00
Telefax: +46 155-25 40 73
E-mail: info@ssabox.com

www.ssabox.com
www.hardox.com
www.weldox.com

