

Vorwärmen — Wann? Wie hoch?

Legierungselemente, wozu das?

Zum Erreichen bestimmter Festigkeitswerte muss man einem Stahl bei seiner Erschmelzung bestimmte Legierungselemente zugeben. Man legiert ihn. Ein Stahl besitzt von Hause aus einen bestimmten Gehalt an Kohlenstoff (C), Silizium (Si) und Mangan (Mn), sowie Verunreinigungen wie Phosphor (P) und Schwefel (S). Darüber hinaus kann der Stahlhersteller auch noch andere Elemente hinzufügen um bestimmte Eigenschaften zu erreichen. Das bekannteste Beispiel hierfür ist Chrom (Cr), mit dem man einen Stahl ab 12% rostbeständig macht (Hochlegierter Stahl). Bei den niedriglegierten Stählen liegen die Gehalte wesentlich tiefer als 12% und es können ausserdem noch andere Elemente hinzu gegeben werden, wie z.B. Molybdän (Mo), Nickel (Ni), Kupfer (Cu), sowie Vanadin (V) um nur die Wichtigsten zu nennen.

Warum sollte man vorwärmen?

Besonders der Kohlenstoff, aber auch einige andere Elemente bewirken, dass ein Stahl beim Schweißen in der wärmebeeinflussten Zone (WEZ = Zone direkt neben der Naht) zur Bildung sehr harter Gefügebestandteile neigt, wenn bestimmte Grenzgehalte an C überschritten werden. Diese „Auffärtung“ in der WEZ ist um so höher, je schneller der Bereich direkt neben der Schweissnaht abkühlt, d.h. je stärker der heisse Schweissbereich vom benachbarten kalten Blechbereich abgeschreckt wird. Um das zu verhindern, muss der Bereich neben der Schweissnaht gleichmässig auf eine bestimmte Temperatur (Vorwärmtemperatur) vor dem Schweißen vorgewärmt werden. Je höher er vorgewärmt ist, um so langsamer kühlt er ab. Dadurch wird die Bildung aufgehärteter, spröder und rissanfälliger Bereiche vermieden.

Wann muss man vorwärmen?

Niedriggekohlte Stähle ($C \leq 0,2\%$) erfordern erst bei grösseren Wanddicken eine Vorwärmung. Höhergekohlte Stähle ($C > 0,25\%$) müssen grundsätzlich vorgewärmt werden.

Die werkstofflich „korrekte“ Vorwärmtemperatur ist aber auch noch abhängig von:

- weiteren Legierungselementen und der Blechdicke
- Gefügeart bzw. Wärmebehandlungszustand Schweissverfahren
- Zusatzwerkstoffart (basisch, rutil / Wasserstoffgehalt)
- Verspannungszustand der Konstruktion
- Temperatur des Bauteils vor dem Schweißen

Wie hoch sollte man vorwärmen?

In der Literatur findet man für verschiedene Stähle einige Dutzend verschiedener Berechnungs- und Abschätzmethoden für die Vorwärmtemperatur. Je nach Kohlenstoffgehalt und anderer Elemente einer Legierungsgruppe existiert eine andere Formel zur Berechnung der Vorwärmtemperatur „Tv“.

Da aber jedes einzelne Element in einem Stahl anders wirkt, wurde deren Wirkung im sogenannten Kohlenstoffäquivalent „Ce“ zusammengefasst. Mit dessen Hilfe kann die geeignete Vorwärmtemperatur in etwa abgeschätzt werden.

Grobabschätzen der Vorwärmtemperatur

Die nachfolgend beschriebene Art, die Vorwärmtemperatur zu bestimmen, ist eine reine **grobe Abschätzung**. Sie ist keinesfalls der Weisheit letzter Schluss, soll aber dem **Schweisspraktiker** zumindest helfen zu bestimmen, ob eine Vorwärmung notwendig ist, und wenn ja, dann soll sie in etwa aufzeigen, wie hoch ungefähr vorgewärmt werden sollte.

Sie stammt aus der Praxis und gilt für Stähle bis 0,5%C, 1,6%Mn, 1%Cr, 3,5%Ni, 0,6%Mo und 1%Cu.

(Fachartikel von Obering. H. Ehrenberg aus Praktiker von 1980)

Zur Abschätzung wird für den entsprechenden Stahl zuerst das Kohlenstoffäquivalent nach folgender Formel berechnet:

$$C_e = \%C + \%Mn/6 + \%Si/5 + \%Cr/6 + \%Ni/12 + \%Mo/4 + \%V/5 + \%Cu/7 + \%P/2$$

Tabelle 1 auf der Rückseite enthält häufig verwendete unlegierte und niedriglegierte Baustähle und deren Kohlenstoffäquivalent, das nach obiger Formel für einen in etwa mittleren Gehalt der Legierungselemente gemäss Normvorgaben, berechnet wurde.

Bild 1 auf der Rückseite enthält das Diagramm, an Hand dessen eine mögliche Vorwärmtemperatur abgeschätzt werden kann.

Die in der Praxis angewendeten Vorwärmtemperaturen liegen zwischen 100°C und 350°C. In dem Diagramm auf der Rückseite ist die ungefähre Vorwärmtemperatur an Hand eines Beispielles bestimmt worden.

Übrigens: wenn vorzuwärmen ist, so gilt das auch für das Heften der Bauteile.

Für S355 mit einer Wanddicke von 50 mm beträgt die ungefähre Vorwärmtemperatur gemäss Diagramm ca. 200 - 220 °C.

Stellt man fest, dass gemäss dieser Berechnung eine Vorwärmung notwendig ist, so empfiehlt es sich, auch unbedingt einen basischen Schweisszusatz wie die UTP 614 Kb, die Böhler Fox EV 50 oder einen anderen passenden Schweisszusatz zu verwenden.

In Sonderfällen können auch überlegierte Schweisszusätze notwendig sein, z.B. Böhler Fox A7 oder UTP 068 HH.

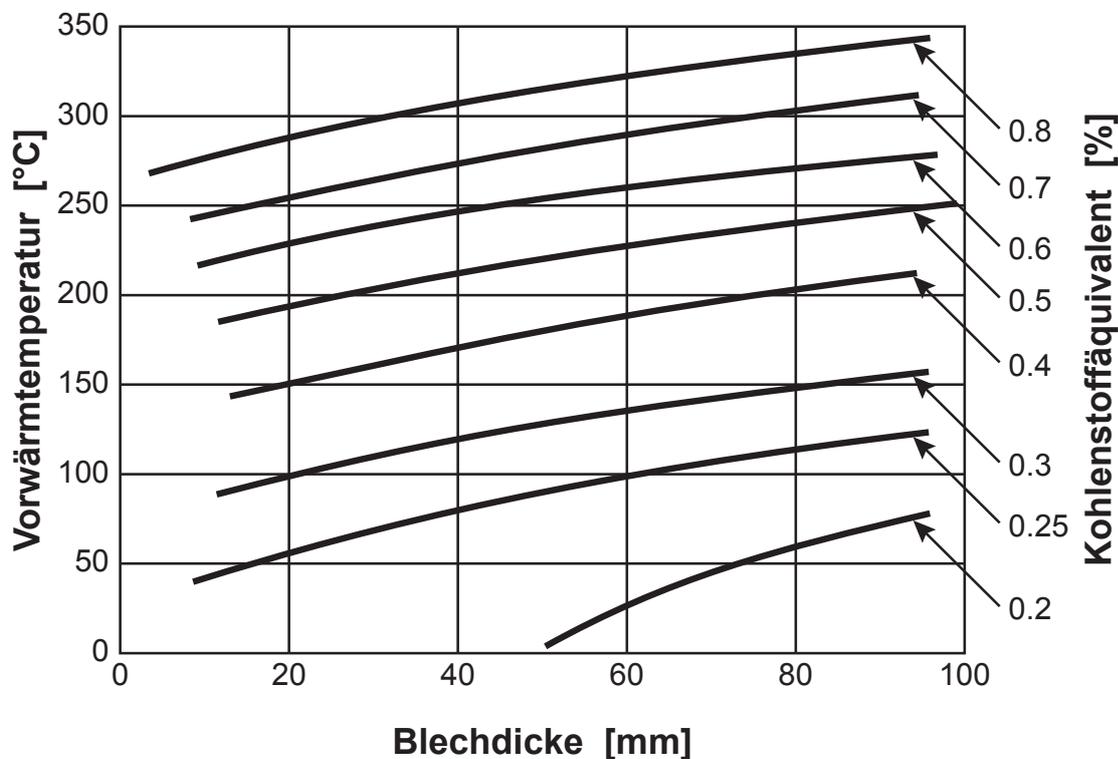
Wichtig: Das Vorwärmen eines Bauteils verursacht grundsätzlich Kosten. Kosten, welche die Herstellung verteuern.

Aber: das Ausschleifen von Rissen und das Nachschweißen verursachen Kosten, die um ein Vielfaches höher sind, als die Kosten für eine notwendige Vorwärmung sein könnten.

Tabelle 1: Berechnung des Kohlenstoffäquivalentes Ce und Bestimmung der ungefähren Vorwärmtemperatur für einige häufig verwendete unlegierte und niedriglegierte Stähle an Hand der mittleren chemischen Zusammensetzung. (Bitte beachten, es handelt sich um eine grobe Abschätzung. Eine genaue Bestimmung ist nur mit der Original-Werkstoffanalyse möglich)

Stahl / Acier / Acciaio	W-Nr	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	P	Ce
St 52-3 / S355J2G3	1.0570	0.17	1.2	0.4					0.03	0.45
St 50-2 / E295	1.0050	0.3	1.2	0.4					0.04	0.58
St 60-2 / E335	1.0060	0.4	1.2	0.4					0.04	0.68
St 70-2 / E360	1.0070	0.5	1.2	0.4					0.04	0.78
19 Mn 6 / P355GH	1.0473	0.2	1.4	0.5	0.02	0.2	0.07		0.025	0.57
GS-C 25 / GP240GH	1.0619	0.21	0.7	0.55	0.25				0.025	0.49
StE 355 / P(S)355N	1.0562	0.17	1.3	0.35	0.1	0.2		0.05	0.03	0.52
StE 460 / P460N	1.8905	0.18	1.5	0.45	0.2	0.5		0.1	0.03	0.63
Ck 25 / C25E	1.1158	0.26	0.6	0.3					0.03	0.44
Ck 35 / C35E	1.1181	0.36	0.7	0.3	0.25	0.25	0.05		0.03	0.63
25CrMo4	1.7218	0.26	0.8	0.3	1.1		0.25		0.03	0.71
42CrMo4	1.7225	0.43	0.8	0.3	1.1		0.25		0.03	0.83
16MnCr5	1.7131	0.17	1.2	0.3	1.0				0.03	0.61
20MnCr5	1.7147	0.2	1.3	0.3	1.2				0.03	0.69
21NiCrMo2	1.6523	0.21	0.85	0.3	0.6	0.6	0.2		0.03	0.63
17CrNiMo6	1.6587	0.18	0.55	0.3	1.7	1.6	0.3		0.03	0.84

Bild 1: Abschätzung der Vorwärmtemperatur mit Hilfe eines gängigen Diagrammes aus der Literatur



10.01 Vorwärmen – Wann? Wie hoch? | Seite 2 von 2 | Stand: 2017-07-13

Diese Information ist ein Hilfsmittel für den Praktiker. Sie gibt grundsätzliche technische Sachverhalte vereinfacht wieder und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Die Gewährleistung der Eignung für einen bestimmten Verwendungszweck bedarf in jedem Fall einer ausdrücklichen schriftlichen Vereinbarung.