VORWÄRMEN IM SCHWEREN STAHLBAU

Tiefeninduktion beschleunigt das Unterpulverschweißen großer Träger

Thomas Vauderwange

Im schweren Stahlbau müssen große Schweißnahtvolumina häufig in kurzer Zeit bewältigt werden. Bei dicken Bauteilen kann die erforderliche Vorwärmung den Fertigungsprozess jedoch erheblich verlangsamen. Die direkt gekoppelte Tiefeninduktion zeigt am Beispiel großer Stahlträger, wie sich Vorwärmen und zweiseitiges Unterpulverschweißen zu einem durchgängigen Fertigungsprozess verbinden lassen.

Für einen Großauftrag im schweren Stahlbau hat Winterhalter Stahlbau aus Freiburg am Projektstandort Offenburg neue Fertigungskapazitäten geschaffen. In den dortigen Hallen werden lange Bauteile im Unterpulverschweißprozess (UP, Prozess 121 nach DIN EN ISO 4063) gefertigt. Gleichzeitig stehen zusätzliche Lagerflächen zur Verfügung. Am Hauptstandort in Freiburg waren weder die erforderlichen Flächen noch die für den Auftrag notwendige Krankapazität vorhanden.

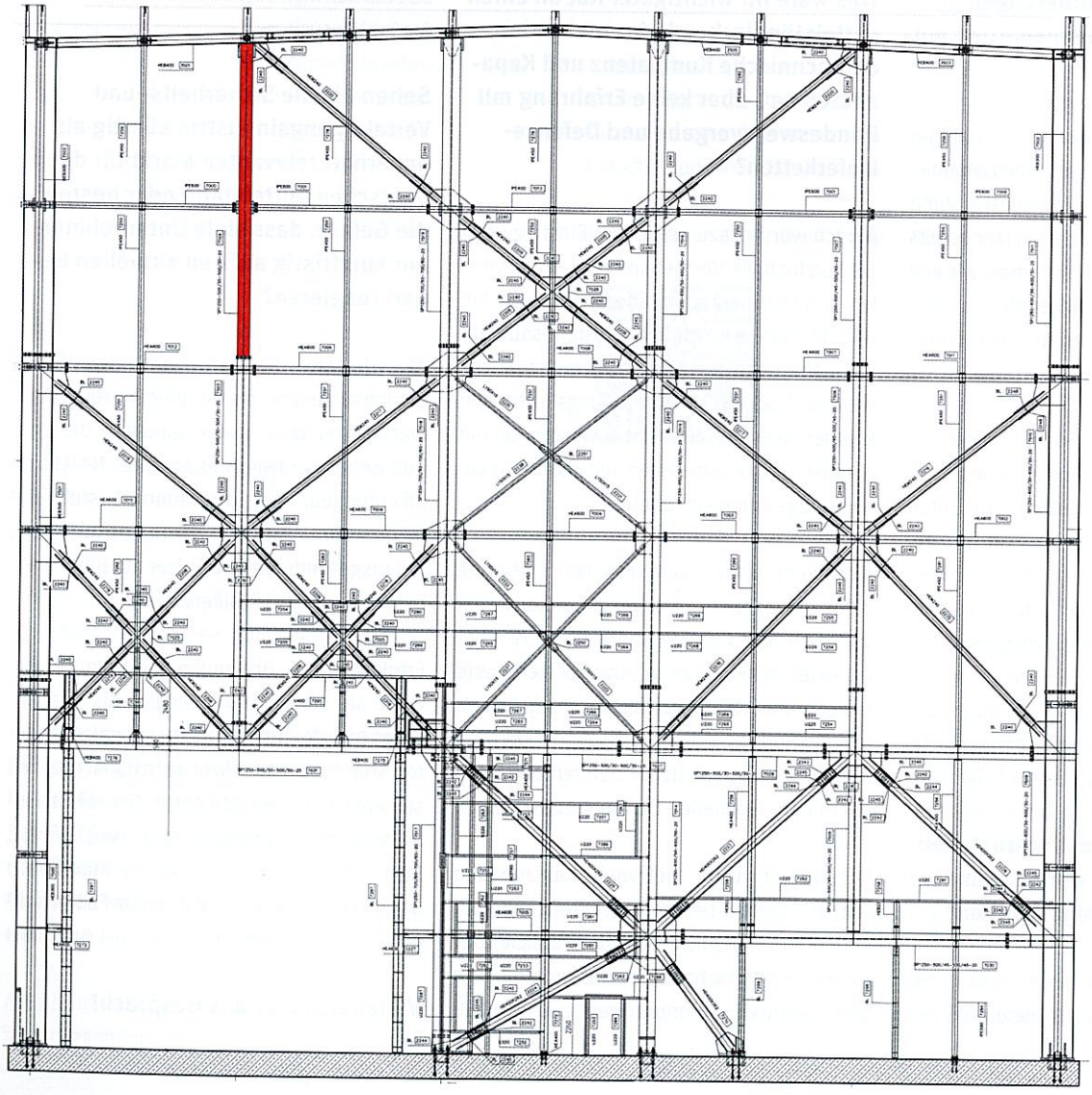


Bild 1: Übersicht der geplanten Halle für ein Hochregallager. Die vertikalen Stützen der Tragstruktur bestehen jeweils aus drei der im Beitrag beschriebenen Trägerelemente, die auf der Baustelle miteinander verschraubt werden. Eine Stütze ist rot hervorgehoben.
(© VauQuadrat)

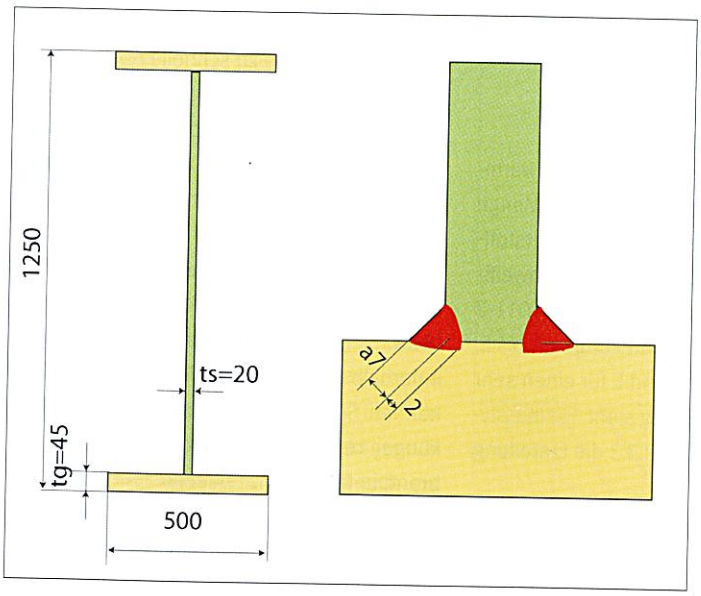


Bild 2: Querschnittsgeometrie des Trägers mit den beidseitig auszuführenden UP-Kehlnähten. (© VauQuadrat)

Das Projekt

Für das Hochregallager entsteht eine Halle mit einer Höhe von 42 m, einer Länge von 77 m und einer Breite von 41 m (**Bild 1**). Die Außenstruktur besteht im Wesentlichen aus vertikalen Doppel-T-Stützen. Für Fertigung, Transport und Montage werden diese in jeweils drei knapp 14 m lange Segmente unterteilt. Kopfplatten an den Stirnseiten ermöglichen es, die einzelnen Elemente auf der Baustelle zu 42 m hohen Stützen zu verschrauben. Die Bauteile sind der Ausführungsklasse EXC2 nach DIN EN 1090 zugeordnet. Für das Projekt werden rund 100 dieser Trägerelemente gefertigt.

- Die fertigen Trägerelemente sind bis zu 15 m lang und wiegen, abhängig von den jeweiligen Anbauteilen wie Kopfplatten oder Knotenblechen zur Versteifung, zwischen 9 und 16 t. Im Mittelpunkt dieses Beitrags steht jedoch ausschließlich die Herstellung der Trägergrundstruktur.
- Der Doppel-T-Querschnitt entspricht aufgrund seiner Abmessungen keinem genormten Trägerprofil wie HEB, HEA, HEM oder IPE. Die Träger werden daher aus zwei Gurtblechen und einem Stegblech geschweißt. Die 45 mm dicken Gurtbleche sind 500 mm breit; senkrecht dazu wird ein 20 mm dickes Stegblech angeordnet. Eine Nahtvorbereitung am Stegblech ist nicht erforderlich. Die Verbindungen zwischen Steg und Ober- beziehungsweise Untergurt werden beidseitig als Kehlnähte am T-Stoß ausgeführt. Der fertige Träger weist eine Höhe von 1.250 mm auf. Gefordert sind Schweißnähte mit einem a-Maß von 7 mm sowie eine Einbrandtiefe von ebenfalls 2 mm. **Bild 2** zeigt den Querschnitt des Bauteils.
- Zur Auswahl des Schweißprozesses erläutert Roger Jenne aus dem Bereich Vertrieb und Anwendungstechnik von Grohmüller in Emmendingen: „Wir wurden beauftragt, eine Lösung für die Aufgabe des mechanisierten Schweißens der langen Trägerbauteile auszuarbeiten. Hierbei wurde tatsächlich zuerst ein MAG-Zweidrahtprozess oder das Schweißen mit drei Lagen betrachtet. Da aber zum Erreichen des erforderlichen a-Maßes und Einbrands ein Pendeln des Lichtbogens erforderlich wurde und ein erhöhter Anarbeitungsbedarf resultiert, gab es seitens der Geschäftsleitung der Firma Winterhalter die Vorgabe, eine Umsetzung in einem robusteren, möglichst einlagigen Prozess zu realisieren. Damit war man bei den ESAB-UP-Schweißgeräten, mit denen man bei Grohmüller viel Erfahrung hat – die für die Firma Winterhalter aber Neuland waren."
- Die Wahl fiel auf zwei ESAB-Schweißtraktoren des Typs Versotrac mit jeweils einer LAF-1000-Stromquelle (**Bild 3**). Damit lassen sich die beiden Kehlnähte auf den gegenüberliegenden Seiten des Trägers in einem Arbeitsgang schweißen.
- Als Grundwerkstoff kommt der Baustahl S235JR+N nach DIN EN 10025 zum Einsatz. Über die normativen Anforderungen hinaus ist für die Bauteile eine Ultraschallprüfung vorgesehen. Der Werkstoff gilt als gut schweißgeeignet; die Herausforderung ergibt sich jedoch aus der Blechdicke von 45 mm. Zur Ermittlung, ob eine Vorwärmung erforderlich ist und welche Vorwärmtemperatur gegebenenfalls eingehalten werden muss, wird die DIN EN 1011-2 herangezogen.
- Für die Beurteilung sind die Streckenenergie des Schweißprozesses, die Bauteilgeometrie beziehungsweise die kombinierte Dicke, das Kohlenstoffäquivalent CEV des Grundwerkstoffs sowie die Wasserstoffeinteilung des Schweißzusatzes zu berücksichtigen.

Streckenenergie

Mit der entsprechenden Formel werden die Prozessgrößen des verwendeten Schweißprozesses umgerechnet. Die Vorschubgeschwindigkeit von 35 cm/min wird dabei umgerechnet zu 5,83 mm/s.

E [kJ/mm] = 1/1000 * U [V] * I [A] / v [mm/s] = 28V * 570A / 5,8 mm/s = 2,737 kJ / mm

Wie für das Unterpulverschweißen typisch, ergibt sich eine vergleichsweise hohe Streckenenergie.

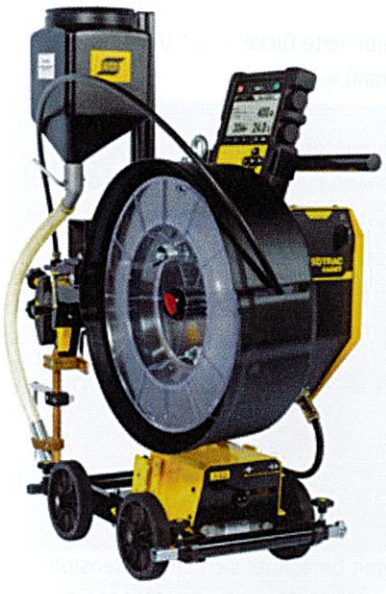


Bild 3: ESAB-Versotrac-Schweißtraktor für das Unterpulverschweißen mit LAF-1000-Stromquelle. (© VauQuadrat)

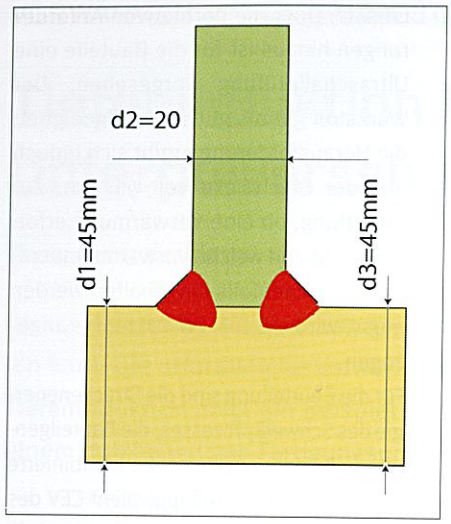


Bild 4: Ermittlung der kombinierten Dicke aus den drei Bauteildicken bei beidseitiger Schweißung nach DIN EN 1011-2. (© VauQuadrat)

Kombinierte Dicke

Für den Fall des simultanen Schweißens von zwei direkt gegenüber liegenden Kehlnähten gibt die DIN EN 1011-2 in **Bild 4** den Hinweis, die kombinierte Dicke nach folgender Formel zu berechnen:

Kombinierte Dicke = ½ * (d1 + d2 + d3)

wobei es sich bei d2 um die Stegdicke handelt, während d1 die Gurtdicke links und d3 die Gurtdicke rechts des Stegs bezeichnet.

Für den vorliegenden Fall ergibt sich damit:

Kombinierte Dicke = ½ * (45 mm + 20 mm + 45 mm) = 55 mm

Kohlenstoffäquivalent

Das Werkszeugnis 3.1 des verwendeten Stahls ergibt folgende Zusammensetzung betreffend der Legierungselemente: (Angaben in Massen-%):

C	Mn	Mo	Cr
0.132	0.844	0.006	0.032
Cu	Ni	V	
0.017	0.025	0,176	

Damit berechnet sich ein Kohlenstoffäquivalent CEV im Sinne der DIN EN 1011-2 wie folgt:

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

Mit der Analyse des verwendeten S235JR+N ergibt CEV = 0.29.

Wasserstoffeinteilung

Bei der Ermittlung der erforderlichen Vorwärmtemperatur wird berücksichtigt, welche Menge an Wasserstoff beziehungsweise wasserstoffbildenden Bestandteilen durch den Schweißzusatz eingebracht wird. Die DIN EN 1011-2 unterscheidet hierzu die Einteilungen A bis E, wobei A für einen hohen und E für einen sehr niedrigen Wasserstoffeintrag steht. Für Massivdraht ist nach Abschnitt C.2.3.3 die Einteilung D anzusetzen.

Die Auswertung der Diagramme C.2 der DIN EN 1011-2 nach Methode A ergibt, dass eine Vorwärmung grundsätzlich nicht erforderlich ist. Aufgrund der Bauteilgeometrie und des mechanisierten Schweißprozesses wurde dennoch eine Vorwärmtemperatur von 80 °C festgelegt. Dieser Wert stellt die untere Temperaturgrenze dar, die zur Sicherstellung der geforderten metallurgischen Eigenschaften von Schweißgut und Wärmeeinflusszone (WEZ) einzuhalten ist. Nach oben wird der zulässige Temperaturbereich durch die festgelegte maximale Zwischenlagentemperatur begrenzt, die bei vielen unlegierten Stählen beispielsweise 250 °C beträgt.

Bild 5 veranschaulicht den Zusammenhang zwischen dem Wärmeeintrag und der resultierenden Abkühlzeit von 800 auf 500 °C, der sogenannten t8/5-Zeit. Wird eine werkstoffabhängige Mindestabkühlzeit unterschritten, können Aufhärtung und Versprödung auftreten (**Bild 5** (1)). Die Einhaltung der nach DIN EN 1011-2 ermittelten Vorwärmbedingungen trägt dazu bei, eine zu schnelle Abkühlung zu vermeiden. Voraussetzung ist, dass die Bauteilgeometrie zutreffend berücksichtigt wird und zusätzliche Einflüsse wie beispielsweise Zugluft ausgeschlossen sind (**Bild 5** (2)).

Eine weitergehende Wärmeeinbringung kann den Schweißprozess zusätzlich begünstigen (**Bild 5** (3)). Höhere Bauteiltemperaturen innerhalb des zulässigen Temperaturbereichs können Schrumpfspannungen und Kerbwirkungen reduzieren sowie einen sicheren Einbrand unterstützen.

Für die praktische Umsetzung der Vorwärmung kann die DIN EN ISO 13916 herangezogen werden. Sie enthält Vorgaben zur Temperaturmessung beim Schweißen und berücksichtigt insbesondere die Bedingungen bei Wärmequellen, deren Wärmeeintrag zunächst an der Bauteiloberfläche erfolgt. Dazu zählen beispielsweise Flammen, Heißluft, Öfen sowie konventionelle Induktionsverfahren.

Bei diesen Verfahren wird die Wärme durch Wärmeleitung in tiefere Werkstoffbereiche übertragen. Insbesondere bei dicken Bauteilen benötigt dieser Vorgang Zeit, da zur Werkstoffschonung sehr hohe Oberflächentemperaturen vermieden werden müssen. Die unmittelbar an der Oberfläche gemessene Temperatur lässt daher nicht zwangsläufig auf die tatsächlich erreichte Vorwärmtemperatur im Bauteil schließen. Um eine zu hohe Einschätzung der Vorwärmtemperatur zu vermeiden, berücksichtigt die Norm zwei wesentliche Maßnahmen:

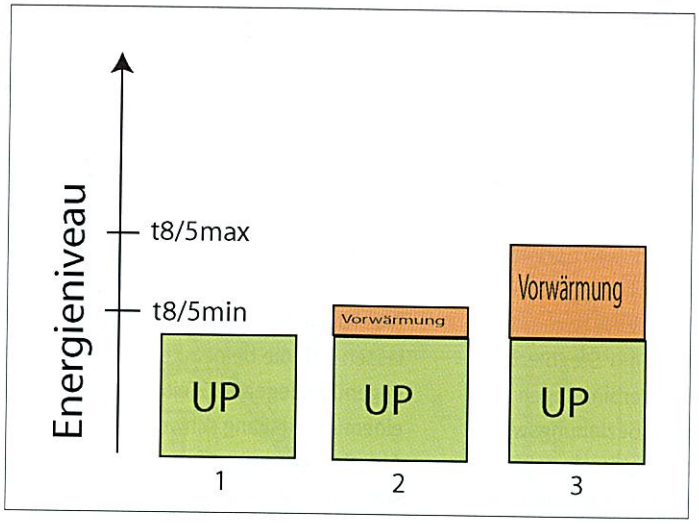


Bild 5: Schematische Darstellung des Zusammenhangs zwischen Wärmeeintrag und Abkühlverhalten: (1) zu geringer Wärmeeintrag, (2) ausreichendes Temperaturniveau, (3) erhöhte Vorwärmung innerhalb des zulässigen Temperaturbereichs. (© VauQuadrat)

- (1) Die Definition einer sehr großen Vorwärmzone
- (2) Der Verweis auf eine „notwendige Ausgleichszeit" vor der Temperaturmessung

Beide Maßnahmen tragen dazu bei, die Prozesssicherheit zu erhöhen. Wird beispielsweise eine Bauteiloberfläche nur kurz mit einem Brenner erwärmt und unmittelbar anschließend die Temperatur gemessen, kann zunächst der Eindruck entstehen, die geforderte Vorwärmtemperatur sei erreicht. Tatsächlich wird die Oberflächentemperatur jedoch schnell wieder absinken, während sich die Wärme im Bauteil verteilt.

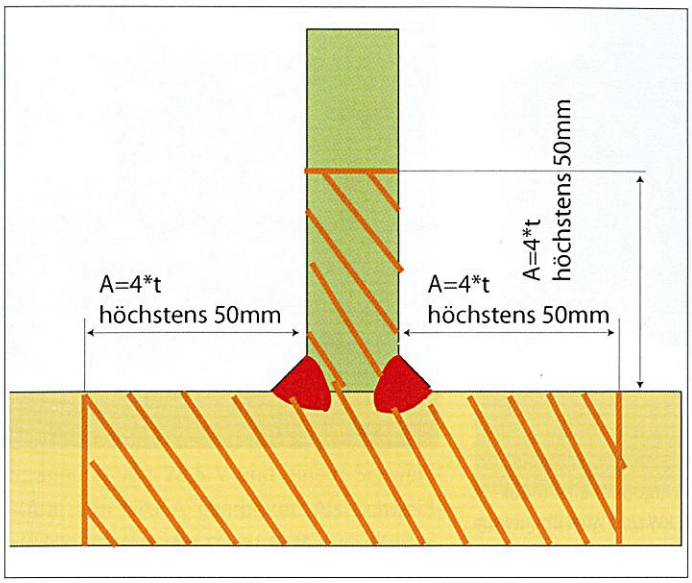


Bild 6: Vorwärmzone nach DIN EN ISO 13916 zur Vermeidung unzureichend erwärmter Bereiche in der Nähe der Schweißnaht bei oberflächlich wirkenden Wärmequellen. (© VauQuadrat)

Ein Schweißbeginn unter diesen Bedingungen kann zu sehr kurzen Abkühlzeiten und damit zu einer erhöhten Gefahr der Martensitbildung führen. Daraus können Risse entstehen, die nicht zwangsläufig unmittelbar sichtbar sind, sondern unter Umständen erst während der späteren Nutzung des Bauteils auftreten.

Für den vorliegenden Anwendungsfall gibt die Norm daher eine entsprechend dimensionierte Vorwärmzone vor (**Bild 6**). Darüber hinaus ist je 25 mm Materialdicke eine Ausgleichszeit von 2 min zu berücksichtigen. Dies ist insbesondere bei Vorwärmverfahren mit oberflächlichem Wärmeeintrag von Bedeutung.

Beide Vorgaben berücksichtigen typische Vorwärmsituationen, etwa das manuelle Erwärmen eines Bauteils mit einem Brenner. Bei fachgerechter Durchführung benötigt der Vorwärmprozess vergleichsweise viel Zeit. Anschließend ist eine ausreichende Ausgleichszeit erforderlich, damit sich die Wärme im Bauteil verteilen kann. Erst danach erfolgt die Temperaturmessung am Rand der in **Bild 6** dargestellten Vorwärmzone. Dort muss die festgelegte Mindestvorwärmtemperatur noch erreicht werden.

Da zwischen Vorwärmen und Schweißen kein exakt definierter Zeitraum liegt, ist eine ausreichend große Vorwärmzone erforderlich. Zudem muss vor der Temperaturmessung die vorgesehene Ausgleichszeit eingehalten werden.

Im vorliegenden Anwendungsfall wurde daher ein anderer Ansatz gewählt.

Martin Schuler, Schweißfachingenieur und externe Schweißaufsicht bei Winterhalter (**Bild 7**), erläutert: „Die Vorversuche zur Verfahrensprüfung haben mit dem Propan-Sauerstoff-Brenner eine nötige Vorwärmzeit von 20 Minuten pro Meter Bauteillänge ergeben. Damit ist es nicht möglich, die Vorwärmung als integralen Bestandteil während des Schweißens zu integrieren, sondern das muss als separater Prozess davor passieren.

Der damit verbundene Zeitaufwand sowie die bei der Flammvorwärmung mit Propan und Sauerstoff entstehende Feuchtigkeit auf der Bauteiloberfläche waren ausschlaggebend für die Suche nach einer Alternative. Über den Schweißfachhändler Grohmüller kam schließlich die direkt gekoppelte, vorlaufende Vorwärmung mittels Tiefeninduktion als mögliche Lösung ins Gespräch.

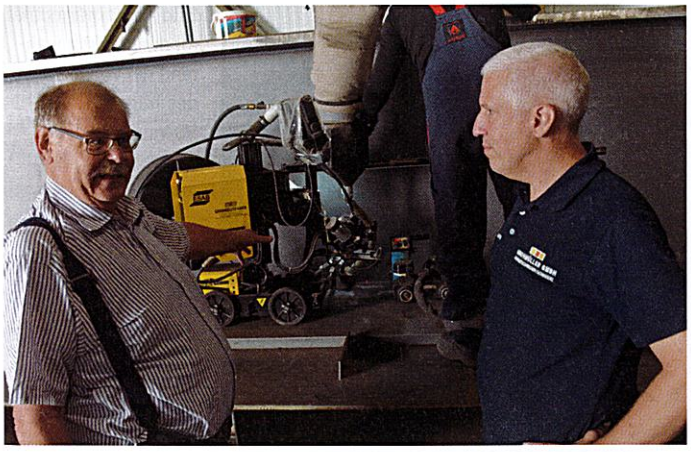


Bild 7: Schweißfachingenieur Martin Schuler (links) und Roger Jenne aus dem Bereich Vertrieb und Anwendungstechnik bei Grohmüller. (© VauQuadrat)

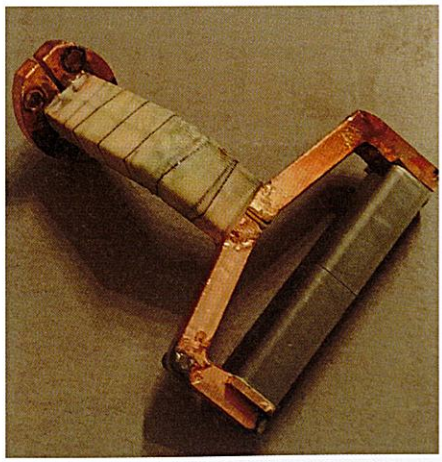


Bild 8: Der eingesetzte Induktor des Typs Robbiduktor F Maxx weist eine Wirklänge von 90 mm und eine Wirkbreite von knapp 30 mm auf. (© VauQuadrat)



Bild 9: Der Induktor am Vorwärmtraktor wird mit einem Tiefeninduktionsgerät des Typs VauQuadrat V4 betrieben. Das Gerät verfügt über eine Induktionsleistung von bis zu 18 kW und wird über einen 3 × 400-V-/32-A-Anschluss versorgt. Die Wasserkühlung ist integriert. (© VauQuadrat)

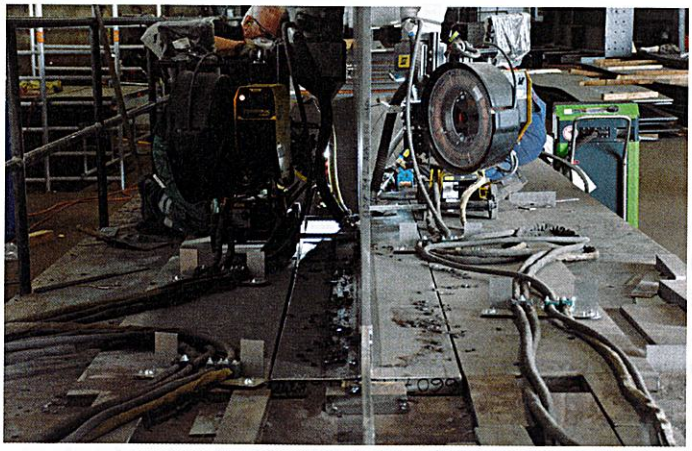


Bild 10: Die beiden UP-Schweißtraktoren und das Tiefeninduktionsgerät sind jeweils über ausreichend lange Schlauchpakete versorgt, um entlang des gesamten Trägers verfahren zu können. Das Tiefeninduktionsgerät wird abschnittsweise entlang des Bauteils versetzt. (© VauQuadrat)

Aufgrund der erforderlichen Investition wurde der Einsatz der Tiefeninduktion zunächst kritisch geprüft. Erste Berechnungen zu den Energie- und Arbeitszeitkosten zeigten jedoch, dass sich die Investition innerhalb eines wirtschaftlich vertretbaren Zeitraums amortisieren kann.

Ursprünglich war vorgesehen, auf beiden Seiten jeweils einen Tiefeninduktor vor dem Schweißlichtbogen mitzuführen.

Roger Jenne: „In Zusammenarbeit mit dem Hersteller VauQuadrat haben wir für Winterhalter die ersten Versuche gemacht, bei denen zunächst an einer Mustergeometrie die Verhältnisse für eine Naht nur auf einer Seite untersucht wurden. Unser Ausgangspunkt war eine angenommene Schweißgeschwindigkeit des UP-Prozesses von 35 cm/min, um das geforderte a-Maß von 7 mm mit hinreichender Einbrandtiefe in einem Durchlauf prozesssicher zu erreichen.

Die Versuche zeigten, dass sich mit einem längeren und breiteren Induktor des Typs Robbduktor F Maxx (**Bild 8**) bei der vorgesehenen Vorschubgeschwindigkeit eine ausreichende Wärmeeinbringung erzielen ließ. Der Induktor wurde an einem Fahrwagen so ausgerichtet, dass seine Hauptwirkrichtung auf das 45 mm dicke Gurtblech gerichtet ist. Das dünnere Stegblech wird dabei seitlich miterwärmt.

Für die Anwendung wurde der Induktor mit einem Abstand von rund 50 cm vor dem Schweißprozess geführt. Bei dünneren Blechen kann die Vorwärmung dagegen unmittelbar vor dem Lichtbogen erfolgen. Da die Anlage zunächst an einem Projektstandort eingesetzt wird, kommt ein kompaktes Tiefeninduktionsgerät des Typs V4 zum Einsatz. Eine größere Anlagenkonfiguration mit Portal und mitgeführten Schweißgeräten war für diesen Einsatz nicht vorgesehen (**Bilder 8 und 9**).

Mit dieser Anordnung ließen sich die geforderten Schweißnahtqualitäten erreichen. Temperaturmessungen auf der Gegenseite zeigten zudem, dass rund 70 cm hinter der Position des ersten Lichtbogens noch ein ausreichendes Temperaturniveau für den zweiten Schweißprozess vorlag. Dadurch konnte auch die zweite Kehlnaht unter geeigneten thermischen Bedingungen geschweißt werden.

Jenne erklärt: „Damit war der ursprüngliche Plan, jedem Lichtbogen einen eigenen Induktor vorlaufen zu lassen, gar nicht mehr notwendig. Das war besonders angenehm, weil damit die Menge der Schlauchpakete, die irgendwo liegen und während des Schweißens ständig nachgeführt werden müssen, verringert werden konnte."

Bild 10 sowie das über den QR-Code am Ende des Beitrags abrufbare Video veranschaulichen

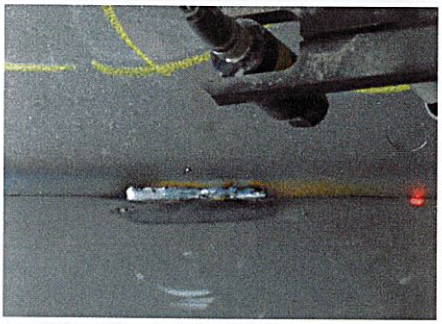


Bild 11: Versenkte und lokal vorgewärmte Heftstelle. Die Ausführung erhöht die Prozesssicherheit und ermöglicht ein störungsarmes Überschweißen. (© VauQuadrat)

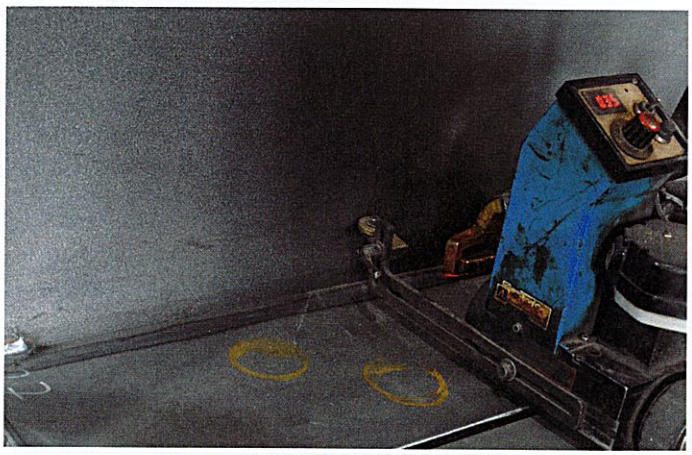


Bild 12: Vorwärmtraktor mit Induktor während der Vorwärmung des Trägers (© VauQuadrat)

das Zusammenspiel von Vorwärmung und Schweißprozessen. Die anschließende Verfahrensprüfung durch die SLV Mannheim bestätigte die Eignung des Gesamtverfahrens.

Fertigungsablauf

Der Zuschnitt und die Anarbeitung der Bleche erfolgen am Hauptstandort von Winterhalter in Freiburg. Anschließend werden die Einzelteile zum Projektstandort nach Offenburg transportiert.

Eine Besonderheit bei der Vorbereitung für das Unterpulverschweißen betrifft die Ausführung der Heftstellen. Martin Schuler erläutert: „Wir wollen sicher sein, dass Heftstellen einerseits halten und andererseits störungsfrei überschweißt werden können. Deswegen werden die Heftstellen jeweils kurz auf der Stegseite ausgeschliffen, sodass ein ‚versenkter Hefter' entsteht. Dieser wird mit einem zweiten Tiefeninduktionsgerät im Handbetrieb tatsächlich auch vorgewärmt, indem man den Induktor zehn Sekunden lang auf die betreffende Stelle hält."

Bei einer konventionellen Erwärmung mit einem Brenner wäre innerhalb von zehn Sekunden kaum eine ausreichende Erwärmung tieferer Werkstoffbereiche zu erwarten. Die an der Oberfläche eingebrachte Wärme verteilt sich über Wärmeleitung und die Temperatur kann entsprechend schnell wieder abfallen. Die Tiefeninduktion ermöglicht dagegen eine gezieltere Wärmeeinbringung in tiefere Bereiche des Bauteils und unterscheidet sich damit grundsätzlich von rein oberflächlich wirkenden Wärmequellen.

Bild 11 zeigt eine entsprechend ausgeführte Heftstelle. Auch die Spuren der lokalen Vorwärmung sind erkennbar.

In der Heftstation wird das Gurtblech zudem um 3 mm entgegen der zu erwartenden Verformungsrichtung vorgespannt. Auf diese Weise lässt sich der schweißbedingte Verzug gezielt kompensieren.

Der fertig geheftete Träger wird anschließend zum Schweißarbeitsplatz transportiert. Dort werden die beiden UP-Schweißtraktoren sowie der Fahrwagen mit dem Tiefeninduktor positioniert. Zunächst startet die Vorwärmung mit einer fest eingestellten Vorschubgeschwindigkeit von 35 cm/min. Nach einem Vorlauf von rund 50 cm beginnen die Schweißprozesse.

Die Vorwärmtemperatur wird berührungslos mit einem Infrarotthermometer kontrolliert. Etwa auf halber Strecke zwischen Induktor und Schweißstelle wird dabei eine weitgehend konstante Temperatur von rund 125 °C gemessen. **Bild 12** zeigt den Vorwärmtraktor im Einsatz.

Beim ersten Schweißprozess wird mit einer Spannung von 28,5 V und einem Schweißstrom von 570 A gearbeitet. Als Schweißzusatz kommt ein 4 mm dicker Massivdraht des Typs ESAB 12.22 mit erhöhtem Si- und Mn-Gehalt zum Einsatz. Bei einer

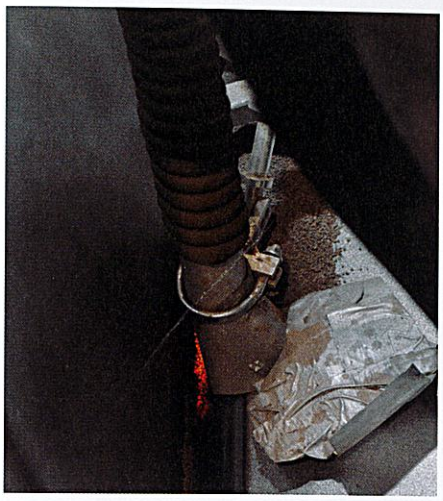


Bild 13: Schweißnaht mit aufliegender Schlacke unmittelbar hinter dem Bereich, in dem das überschüssige Schweißpulver abgesaugt wurde. (© VauQuadrat)

Energetische Betrachtung

Fall 1: Vorwärmen mit Propan und Sauerstoff

Bei Einsatz eines Anwärmbrenners der Größe D1 beträgt der Propanverbrauch 0,5 m³/h und der Sauerstoffverbrauch 1,8 m³/h. Bei einer erforderlichen Vorwärmzeit von 20 min je Meter ergibt sich für einen 14 m langen Träger eine Vorwärmdauer von 4 h und 40 min. Der Propanverbrauch liegt damit bei rund 2,3 m³. Bei einem Energieinhalt von 25,88 kWh je Normkubikmeter entspricht dies einem Energieaufwand von rund 60 kWh.

Fall 2: Vorwärmen mittels Tiefeninduktion

Der Tiefeninduktor wird mit einer Vorschubgeschwindigkeit von 35 cm/min geführt. Für einen 14 m langen Träger ergibt sich daraus eine Vorwärmdauer von 40 min beziehungsweise 0,66 h. Bei einer durchschnittlichen Leistungsaufnahme von 17 kW beträgt der elektrische Energieverbrauch 11,22 kWh.

Neben dem geringeren Energiebedarf sind auch die jeweiligen Energiekosten zu berücksichtigen. Im vorliegenden Vergleich liegen die spezifischen Energiekosten der Propan-Sauerstoff-Vorwärmung über denen des Strombezugs aus dem öffentlichen Netz. Bei Nutzung betriebseigen erzeugten Photovoltaikstroms kann sich der Kostenvorteil der induktiven Vorwärmung zusätzlich erhöhen.

https://bit.ly/44zqmj5

Über den Link lässt sich die beschriebene Anlage im laufenden Schweißprozess betrachten.



Bild 14: Fertig ausgeführte UP-Kehlnaht (© VauQuadrat)

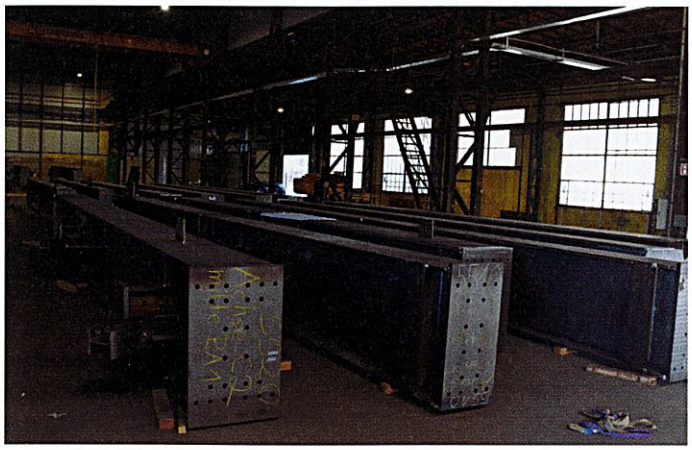


Bild 15: Fertig geschweißte Träger vor dem Lackieren (© VauQuadrat)

Vorschubgeschwindigkeit von 35 cm/min wird das geforderte a-Maß von mindestens 2 mm erreicht. Als Schweißpulver wird ESAB 1071 verwendet.

Beim Unterpulverschweißen wird das Schweißpulver über eine Schüttdüse vor der Schweißstelle aufgebracht. Draht und Lichtbogen befinden sich vollständig unter der Pulverschüttung, sodass der Lichtbogen von außen nicht sichtbar ist. Nicht aufgeschmolzenes Schweißpulver wird hinter der Schweißstelle abgesaugt und dem Prozess erneut zugeführt. Das am Schweißprozess beteiligte Pulver bildet auf der Schweißnaht eine Schlackeschicht, die in **Bild 13** noch im glühenden Zustand zu erkennen ist.

Der Bediener des ersten Schweißtraktors entfernt anschließend die Schlacke von der Schweißnaht. Das Ergebnis ist in **Bild 14** dargestellt. Auf der gegenüberliegenden Seite lässt sich die Position des ersten Lichtbogens anhand einer Anlauffarbenspur am Steg erkennen. Sobald ein Abstand von rund 70 cm erreicht ist, wird der zweite Schweißprozess gestartet.

Dieser arbeitet mit einer geringeren Spannung von 27,5 V, da auf der zweiten Seite bereits ein höheres Temperaturniveau vorliegt. Die übrige Ausrüstung und der Schweißzusatz sind identisch. Das über den QR-Code abrufbare Video verdeutlicht das räumliche und zeitliche Zusammenspiel von Vorwärmung und den beiden Schweißprozessen. **Bild 15** zeigt die fertig geschweißten Träger mit Kopfplatten und weiteren Anbauteilen.

Für die Trägerschweißanlage ist ein Zweischichtbetrieb vorgesehen. Im Anschluss werden die Kopfplatten sowie die jeweils erforderlichen Anbauteile montiert und geschweißt. Aufgrund der unterschiedlichen Ausführungen entstehen dabei nur wenige baugleiche Träger.

Die fertigen Bauteile erhalten eine einschichtige Nasslackierung und werden anschließend zur Baustelle des Endkunden, eines großen Industriebetriebs in Norddeutschland, transportiert. Die Endmontage der Halle erfolgt ab August 2026 in zehn Montageabschnitten. ■



Dipl.-Ing Thomas Vauderwange
MBA SFI/IWE
VauQuadrat GmbH
thomas@vauderwange.de

Literatur

[1] DIN EN 1011-2: Schweißen – Empfehlungen zum Schweißen metallischer Werkstoffe – Teil 2: Lichtbogenschweißen von ferritischen Stählen. Grundlage zur Bestimmung der erforderlichen Vorwärmtemperatur.

[2] DIN EN ISO 13916: Schweißen – Anleitung zur Messung der Vorwärm-, Zwischenlagen- und Haltetemperatur. Vorgaben zur Temperaturmessung beim Vorwärmen.

[3] Thermisches Richten – keine schwarze Magie! In: DVS-Berichte, Band 327, S. 6–13.

[4] Vauderwange, T.: Thermisches Richten – keine schwarze Magie. DVS Media, 2026. ISBN 978-3-96144-306-2. Grundlagen der zur Vorwärmung eingesetzten Tiefeninduktion.

[5] VauQuadrat GmbH: www.vauquadrat.com

[6] Grohmüller GmbH: www.grohmueller.de