

DER PRAKTIKER

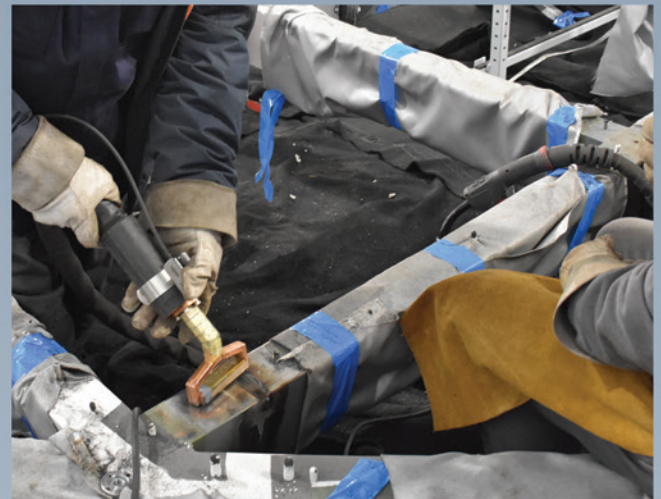
DVS

3

Fachmagazin für Schweißtechnik und mehr

2024

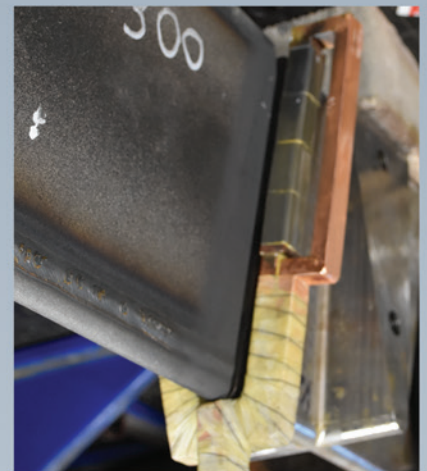
Prozesssicher und energiesparend vorwärmen: Herstellung der "Lichtaugen" für den Tiefbahnhof Stuttgart 21



Tiefeninduktion:

- Leistungsstark
- Energieeffizient
- Kaum Lärm
- Keine Blendung
- Reproduzierbar und risikoarm wärmen
- Keine unkontrollierbar davonlaufenden Oberflächentemperaturen

VauQuadrat



SONDERDRUCK aus „DER PRAKTIKER“ Heft 3/2024

Anspruchsvoll in Konstruktion und Fertigung

Thomas Vauderwange

HERSTELLUNG DER „LICHTAUGEN“ FÜR DEN TIEFBAHNHOF „STUTTGART 21“

Anspruchsvoll in Konstruktion und Fertigung

Thomas Vauderwange



Vom neuen Tiefbahnhof in Stuttgart haben Sie sicher gehört – aber haben Sie auch schon gesehen, was da entsteht? Eine außergewöhnliche Konstruktion, bei der mit einer Kombination von statisch hoch anspruchsvollen Beton-Kelchstützen und sogenannten „Lichtaugen“ der eigentlich unterirdisch gelegene Durchgangsbahnhof reichlich Tageslicht bekommen soll. Die Gersthofener Firma seele ist mit der Umsetzung der Lichtaugen beauftragt. Ein Reportagebesuch auf der Baustelle mitten in Stuttgart hat Einblicke in den schweißtechnisch anspruchsvollen Fertigungsverfahren – und in ein faszinierendes Bauprojekt – gewährt. Das Bild oben illustriert den geplanten Endzustand.

Der Autor erinnert sich an eine interessante Anfrage Mitte 2022: Es gilt, zusammengesetzte Stahlprofile aus Baustahl S355J2+N und teilweise aus Feinkornstahl S460NL mit massiven Kreuzknoten aus S460N+Z35 zu verschweißen, dargestellt in **Bild 1**. Sehr viele Schweißverbindungen seien zu erstellen, teilweise in den Fertigungshallen, aber dann auch auf der Baustelle. Robotertauglich

müsse der gesamte Prozess sein, und die erforderliche Vorwärmung soll schnell und reproduzierbar stattfinden.

Ein Bild für die Vorwärmtemperatur

Ein kurzer Blick in die Analyse aus dem Werkzeugnis 3.1 des vorliegenden S460N entsprechend der Norm DIN EN 10025-3 ergibt die in **Tabelle 1** dargestellte Zusam-

ensetzung betreffend der Legierungselemente. Damit berechnet sich ein Kohlenstoffäquivalent CE im Sinne der DIN EN 1011 wie folgt:

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

Daraus ergibt sich das Kohlenstoffäquivalent für den S460N zu CE = 0.49.

Relevant ist der Knoten als massives Teil, als Werkstoffdicke für die Ermittlung der nötigen Vorwärmtemperatur wird also die Breite an der Oberseite von 90 mm verwendet. Im Anhang C der DIN EN 1011-2 gibt es die Bilder 2e) bis 2m). Zunächst gilt es, das richtige Bild für die Bestimmung der Vorwärmtemperatur zu bestimmen. Hierzu wird das Kohlenstoffäquivalent CE (hier 0.49) verwendet – und eine sogenannte „Einteilung“. In dem erklärenden Abschnitt C.2.3.2 in Tabelle C2 der Norm noch „Wasserstoffwert“ genannt, geht es hierbei darum, wieviel diffusibler Wasserstoff in ml/100g im abgeschmolzenen Schweißgut aus Grundwerkstoff und vor allem Zusatzwerkstoff vorhanden ist. Gerade unter Baustellenbedingungen sollte man mit einer anderen Auswahl als dem höchsten Wert „A“ vorsichtig sein. Es gilt also, das Bild zu finden, bei dem für die „Einteilung A“ ein CE-Wert von 0.49 angegeben ist. Dies ist hier in „Bild C.2h“ der Fall, bei uns **Bild 2**.

Mit Hilfe der Streckenenergie des verwendeten MAG-Schweißprozesses (Prozessnummer 135 der DIN EN ISO 4063) von etwa 1,25 kJ/mm (zu berechnen aus $k (0,8 \text{ für MAG}) \cdot [U = 25,9 \text{ V} \cdot I = 200 \text{ A}] / v = 20 \text{ cm/min} = 3,33 \text{ mm/s}$) und der kombinierten Dicke von 70 mm kommt man zu einer Mindest-Vorwärmtemperatur von 140 °C, wie auch in der Anfrage vorgeschlagen. Dass es eine maximale Zwischenlagentemperatur von 250 °C gibt, da der Feinkornstahl sonst zu langsam abkühlt und das Korn vergrößert, sei nur am Rande angemerkt.

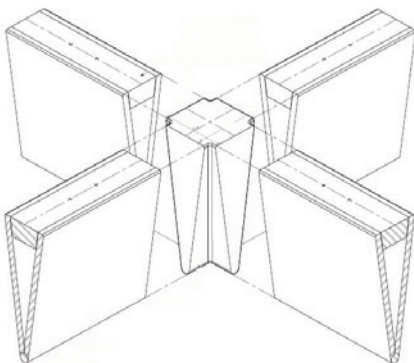


Bild 1: Schematische Darstellung der Schweißaufgabe: die Verbindung der massiven Kreuzknoten aus S460N mit den geschweißten Dreieckprofilen (© seele)

„Die Einsatzerfahrungen mit der Tiefeninduktion haben es nahegelegt, diese Technologie auch für das Projekt der Lichtaugen zu empfehlen.“

Michael Westermeir (SFI), Ingenieurbüro ibmw

Tiefeninduktion: deutliche Beschleunigung und verringertes Risiko

Für den Entwurf des Vorwärmprozesses war wiederum klar, dass nicht die nahtweise manuelle Schweißung auf der Baustelle, sondern die Ausführung der kompletten Schweißnaht ringsherum durch den Roboter bestimmend sein würde. Die Tatsache, dass das anstoßende Profil teils eine Öffnung enthält und teils geschlossen ist, spielt keine Rolle bei den Überlegungen, da das Profil in jedem Fall genügend Streuwärme abbekommen hat, wenn der Knoten auf Temperatur ist. Auf Tiefeninduktion als

Wärmequelle war man durch den Hinweis seitens Michael Westermeir (SFI) vom Ingenieurbüro ibmw (**Bild 3**) als beratendem, externen Experten gekommen.

Dieser kommentiert dazu: „Als Bauteil mit der entsprechenden Gefährneigung in die Ausführungsklasse 3 der DIN EN 1090 eingestuft (EXC 3) – und mit ‚Stuttgart 21‘ als einem namhaften Gesamt-Bauvorhaben, bei dem man sicher nicht als Fertiger auffallen möchte, der aufgrund von Qualitätsmängeln oder mangelnder Prozesssicherheit den

Tabelle 1. Zusammensetzung der Legierungselemente des für die Kreuzknoten eingesetzten S460N (Massenanteile in %)

C	Mn	Mo	Cr	Cu	Ni	V
0,169	1,645	0,006	0,032	0,031	0,025	0,176

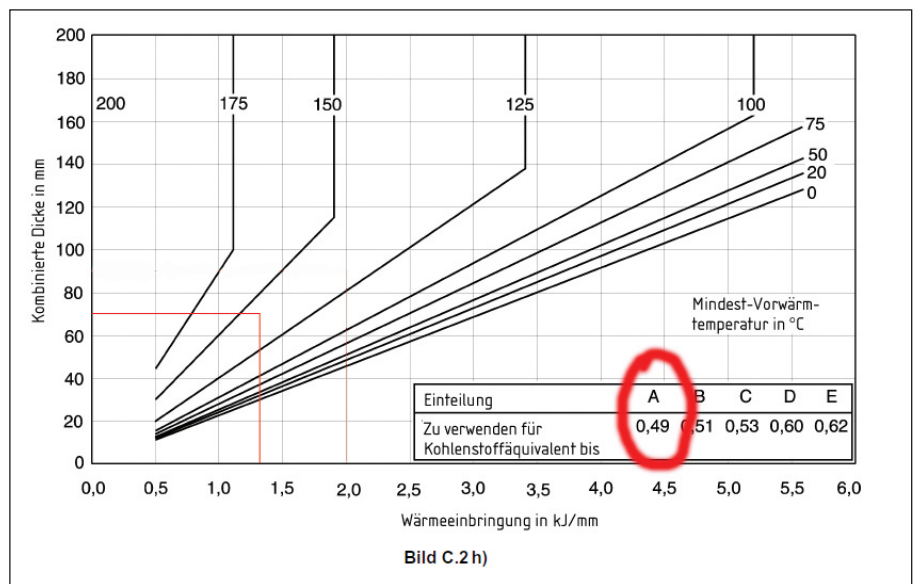


Bild 2: In der DIN EN 1011-2 ist diese Bestimmungshilfe als „Bild C.2h“) als eine von vielen enthalten. (© VauQuadrat GmbH)



Bild 3: Schweißfachingenieur Michael Westermeir vom ibmw (© ibmw)

Baufortschritt aufhält, ist eine durchgängig stringente Planung von der Fertigung der Komponenten bis zum Einbau auf der Baustelle angesagt. Auch dahingehend sprach vieles für ein Vorwärmverfahren, was im Vergleich zu den üblichen Methoden unter Nutzung der offenen Flamme oder gar Heizmatten eine deutliche Beschleunigung und vor allem ein verringertes Risiko an Umsetzungsfehlern beinhaltet. Denn dass eine unvollständige Vorwärmung, gerade unter Baustellenbedingungen im Winter, sich wegen der folgenden Aufhärtungen fatal auf die Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit der Schweißverbindungen auswirkt, ist kein

Geheimnis. Und mit den sonst üblichen, rein oberflächlich wirkenden Vorwärmmethoden wie eben der Flamme (oder aber beispielsweise auch der rein oberflächlich wirkenden Resonanzinduktion) kommt es eben schnell zu einer ‚Kältetasche‘ im direkten Umfeld der entstehenden Schweißnaht. Die Einsatz Erfahrungen der letzten zehn Jahre mit der Tiefeninduktion durch von mir betreute Firmen haben es nahegelegt, diese Technologie auch für das Projekt der Lichtaugen zu empfehlen.“

Gleichzeitige Erwärmung des ganzen Profilquerschnitts

Erste Überlegungen zur Umsetzung umfassten durchaus auch die in der Vergangenheit immer wieder eingesetzte Möglichkeit, den Roboter mit einem Wechselsystem auszustatten, sodass dieser erst einen Induktor greift und über die geplanten Schweißnähte führt, dann umgreift auf den MAG-Schweißbrenner und die benötigten Lagen schweißt.

Ein Blick auf die bei seele pilsen hierfür eigens hergestellte Schweißvorrichtung (**Bild 4**) zeigt einerseits, dass dadurch ein enormes Ausmaß an zusätzlichen Roboterbewegungen erforderlich wird. Außerdem bestand der Gedanke, die Prozesszeit durch eine gleichzeitige Erwärmung des ganzen Profilquerschnitts deutlich zu reduzieren. Und da es hierbei zu einer „Verdünnung“ der eingebrachten Tiefeninduktionsleistung auf ein größeres Volumen zur selben Zeit kommt, wird die Erzeugungswirktiefe nochmals größer, und die

Oberflächentemperaturen können noch kleiner gehalten werden.

Der Ansatz: ein speziell geformter Induktor, der das Profil auf beiden Seiten umschließt. Bei dessen Konstruktion fällt der ungewöhnliche Öffnungswinkel des übrigens bei seele pilsen in großen Mengen aus Blechen und Rundmaterial geschweißten V-förmigen Profils auf: Die Lichtaugen bei „Stuttgart 21“ sind aus Profilen hergestellt, die einen Öffnungswinkel von 21° haben. Dass es derlei nicht „von der Stange“ gibt, erscheint an dieser Stelle verständlich.

Bei dem Induktorentwurf (**Bild 5**) waren mehrere Details im Umgang mit der Tiefeninduktion zu bedenken: Ein in sich symmetrischer Aufbau muss einerseits einen passenden Abstand zum Werkstück sicherstellen – zu viel Abstand, und es wird zu wenig Leistung eingekoppelt. Zu wenig Abstand beeinflusst beim Vorwärmen hingegen auch bei der Tiefeninduktion die Erzeugungswirktiefe negativ.

Andererseits würde ein Induktor, der beide Seiten auf der ganzen Höhe in gleicher Art erwärmt, dazu führen, dass der untere, schmalere Bereich deutlich schneller auf Temperatur kommt als der breite und massive Bereich ganz oben. Und gerade da kommt es auf die Vorwärmwirkung besonders an.

Die Lösung: Im oberen Bereich sind auf der eigentlichen Wirkzone des Induktors Feldverstärker aus einer amorphen Eisen-Silizium-Matrix angebracht (in **Bild 5** gelb dargestellt). Mit diesen gelingt es, die Masse der Wirkung dorthin zu dirigieren, wo die meiste Wirkung gebraucht wird.

Dass es dann noch ein ordentliches Stück Weg und etliche Versuche im Erprobungskeller von VauQuadrat in Offenburg gebraucht hat, um die passende Geräteabstimmung zu finden, sei nur am Rande angemerkt. Zum Erprobungsbericht des vorgeschalteten Kleinprojekts gehörte aber auf jeden Fall ein Wärmebildvideo, das natürlich nur sinnvoll verwertbar ist mit zugehörigen Referenzmessungen über Anlegethermometer. Dieses Wärmebildvideo kann über den QR-Code auf der vorletzten Seite des Berichts abgerufen werden. Die erzielte Erwärmungszeit von 2 min – für eine garantierte Durchwärmung und nur geringe Übertemperaturen –



Bild 4: Die für die Bauteilfertigung in Pilsen und Gersthofen eingesetzte Schweißvorrichtung (© seele)

wurde zu einem wichtigen Faktor im Gesamt- ablauf. In Summe sind für das Projekt bei seele in Pilsen, Gersthofen und auf der Baustelle in Stuttgart immerhin zehn der Tiefeninduktions- geräte „VauQuadrat V4“ im Einsatz.

Vorfertigung in acht Baugruppen

Apropos Baustelle – werfen wir einen Blick auf das Gesamtkonzept. In den zwei Fertigungs- betrieben werden wie erwähnt zuerst die Profile und die Kreuzstücke unter Einsatz von Schweißrobotern gefertigt. Dann werden meh- rere der Kreuzstücke zu mehreren Segmenten zusammenschweißt. Da aber jedes fertige Lichtauge einen Durchmesser von 21 m misst und 40 t wiegt, ist eine komplette Vorfertigung nicht möglich. Denn das Resultat würde nicht mehr auf einen Tieflader passen. Also werden acht Baugruppen hergestellt und im nötigen Umfang der Prüfung und Maßkontrolle unter- zogen. Die Baugruppen sind so weit wie mög- lich schon weiß beschichtet. Der Abstand zu den Zonen, in denen später vorgewärmt und dann geschweißt wird, beträgt an manchen Stößen nur um die 50 mm, nicht mehr. Ermöglicht wird dies durch die konzentrierte Wärmeeinbringung der Tiefeninduktion. Das, was an Wärmeableitung Richtung der weißen Beschichtung stattfindet, erhöht die Tempera- tur dort nicht weit genug, um Schaden anzu- richten.

Nun muss aber auch klargelegt werden, dass durch die gekrümmte Form des fertigen Lichtauges jedes Teilsegment anders aussieht. Profile, teils aus S355J2+N, teils aus S460NL, gefertigt aus einer Kombina- tion unterschiedlicher Blechdicken, sind an den einzelnen Stellen genau vorgeschrie- ben, ebenso deren Winkel zueinander. Der Übersichtsplan (Bild 6) dazu zeigt für jeden

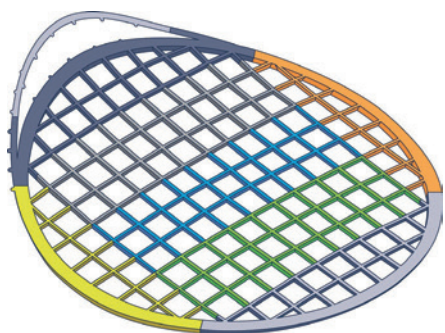


Bild 6: Gesamtübersicht über die Tragkonstruktion eines Lichtauges (© seele)

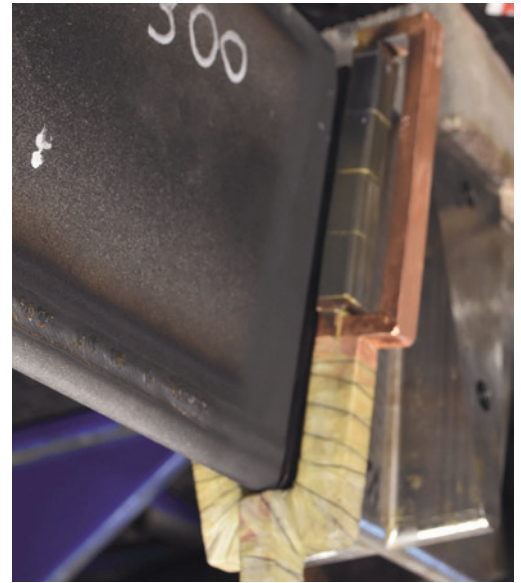
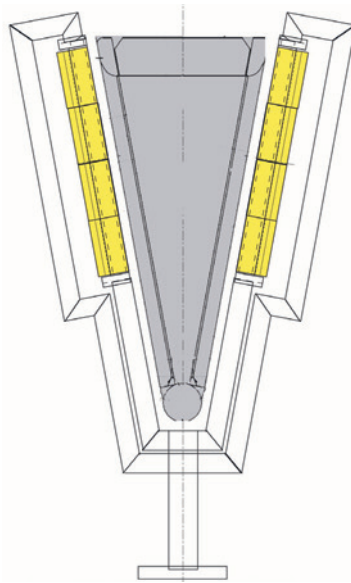


Bild 5: Links der erste Entwurf eines Induktors, der das gesamte Profil möglichst gleichmäßig erwärmt, rechts der fertige Induktor in der Erprobung (© VauQuadrat GmbH)

Knoten anhand verschiedenster Farbco- dierungen und eines ausgeklügelten Be- zeichnungsschemas an, was wohin kommt. Schließlich ist die Beanspruchung überall anders, und ähnlich wie bei einem Tailored Blank im Automobilbau, bei dem innerhalb eines Bauteils überall nur so viel Material ist wie erforderlich, wird auf diese Weise er- reicht, dass nicht durch das Eigengewicht der Tragstruktur die eigentliche Aufgabe des Positionierens der Glaselemente in den Hin- tergrund tritt und man vor lauter Stahl kein Glas mehr sehen würde.

Zumindest bei den einzelnen Kreuzstücken ist die Schweißaufgabe deswegen etwas er- leichtert, weil es noch recht einfach möglich ist, das betreffende Bauteil so zu rotieren, dass die eigentliche Schweißung immer in Wann- lage (Position PA) vorgenommen werden kann. Mit zunehmendem Zusammenbaustand und der damit zunehmenden Werkstückgröße ist das aber nicht mehr der Fall.

Spätestens auf der Baustelle kann nur noch die obere, 90 mm lange und etwa 20 Lagen umfassende Naht in Position PA erstellt



Bild 7: Auf dieser Drohnenaufnahme aus 2023 sind in der Betondecke die Öffnungen über den Kelch- stützen mit weißem Gewebe verspannt (aus dem „YouTube“-Video der Deutschen Bahn, siehe QR-Code) (© Deutsche Bahn)



Bild 8: Links: Einheben der Segmente, dann Schweißarbeiten, Spachteln und Vervollständigen der Beschichtung; rechts: Montage der Glasscheiben und ihrer Metallrahmen (© VauQuadrat GmbH)

werden. Die beiden seitlichen Nähte sind als Steignähte mit jeweils sechs Lagen auszuführen, die Schweißer bewegen sich dazu auf einer gespannten Gewebbahn und zwischen den Stahlprofilen.

Temporäre „Montagehalle“ aus Überseecontainern

Sehen wir uns zunächst den Gesamtprozess an: Die insgesamt 27 Lichtaugen sind oben in der Betondecke über dem eigentlichen Bahnsteigbereich des neuen Tiefbahnhofs angeordnet. Auf den früher publizierten Luftbildern (**Bild 7**) waren diese als große runde Kreise zu sehen. Die Öffnung im Beton ist tragfähig und wasserdicht abgespannt.

Die Tragkonstruktion müsste also quasi im Freien, oberhalb des eigentlichen Bauwerks, endmontiert werden. Das ist weder den Schweißarbeiten noch den sonst erforderlichen Arbeitsschritten zuträglich. Deswegen wird durch eine große Zahl an handelsüblichen 40-Fuß-Überseecontainern in kürzester Zeit temporär eine Art Hallenwand aufgestellt. Auf diese werden eigens angefertigte, lange Gitterrohrträger aufgelegt, an denen auch die benötigten Deckenkrane montiert werden. Im noch offenen Zustand werden nun die just in time vom Fertigungswerk herangeführten Lichtaugensegmente durch einen Turmdrehkran eingehoben, genau positioniert und fixiert, in **Bild 8** ganz links zu sehen. Dort sieht

man auch, dass ein großer Teil des Segments weiß beschichtet ist und nur die Fugstellen ausgespart sind.

Danach wird die neue „Montagehalle“ schnellstens mit einer Abdeckung versehen, die Stromversorgung und eine Heizung installiert. Das zweite Bild zeigt dann die eigentliche Arbeit der Schweißer und Schlosser. Die beschichteten Stellen werden vollständig abgedeckt und abgeklebt, dann geht es daran, Ein-/Auslaubleche anzuheften, dann wird vorgewärmt und schließlich geschweißt. All das hat etwas von einem Ameisenhaufen, denn es wird an vier Stellen gleichzeitig gearbeitet. Angesichts der Geschwindigkeit, mit der es insgesamt vorangeht, muss das aber ein sehr organisierter Ameisenhaufen sein.



Bild 9: Das Team der Schweißaufsicht hat in Stuttgart auf der Baustelle Besuch bekommen (v. l. n. r.): Lukas Pauler (SFM), Olaf Groth (SFM), IMS, Berlin, Andreas Hirschfeld (SFI), seele, Gersthofen, Thomas Vauderwange MBA (SFI/IWE), VauQuadrat, Offenburg (© VauQuadrat GmbH)

Das dritte Bild der Folge zeigt eine andere Halle, in der alles schon einen großen Schritt weiter ist. Die schweißtechnisch bearbeiteten Stellen wurden verputzt, gespachtelt und werden danach beschichtet, sodass das komplette Tragwerk eine einheitlich weiße Farbe hat. Im rechten Bild sieht man dann, wie eine andere Montagemannschaft die Glaspakete und anschließend die Metallprofile montiert.

56 Schweißstöße pro Lichtauge, 12 h Schweißzeit pro Schweißstoß

Damit sind wir bei der Ausführung der schweißtechnischen Arbeiten vor Ort und bei Andreas Hirschfeld, Schweißfachingenieur und verantwortliche Schweißaufsicht für seele. Mit seinem Team (**Bild 9**) sorgt er einerseits dafür, dass die Abläufe beim eigentlichen Vorwärmen und Schweißen eingehalten werden. Ein erheblicher Teil der Arbeit besteht für dieses

Team aber auch darin, die große Menge an schweißtechnischem Personal, die gebraucht wird, auf deren Eignung für die Tätigkeiten zu überprüfen.

Befassen wir uns nun mit der Baustellen-schweißung. Beim Verbinden der acht vorgefertigten Segmente sind insgesamt pro Lichtauge 56 Schweißstöße zu fertigen. Dabei kommt man pro Schweißstoß durchaus auf 12 h Schweißzeit, um die 20 Lagen der oberen und die zweimal sechs Lagen der seitlichen V-Nahtvorbereitungen zu füllen. Das Vorwärmen geht dabei selbst bei der Wurzellage der oberen Naht mit knapp über einer Minute zeitlich „im Rauschen unter“. Der entsprechende Prozess ist in einem weiteren Video zu sehen, was über die untenstehenden QR-Codes abrufbar ist. Interessantes Detail: Was ist denn mit der Wartezeit von 30 s vor der Temperaturmessung, an die man sich vielleicht von einer



Bild 10: Der auf der Baustelle verwendete Induktortyp „Robbiduktor F Maxx“ während des Kleinprojekts zur Prozessfindung. Auf der Stirnseite des Profils ist ein spezieller Lack zu sehen, um gute Wärmebildaufnahmen zu bekommen. In das Loch in der Mitte ist ein Anlegefühler gesteckt, um genaue Temperaturinformationen zu haben. (© VauQuadrat GmbH)

i

Das Bahnprojekt „Stuttgart 21“

„Stuttgart 21“ ist die komplette Neuordnung des Bahnknotens Stuttgart und ein Gemeinschaftsprojekt von Bund, Land Baden-Württemberg, Landeshauptstadt Stuttgart, Verband Region Stuttgart, Flughafen Stuttgart GmbH und der Deutschen Bahn. Gebaut werden außer dem künftigen Stuttgarter Hauptbahnhof als Herzstück des Projekts drei weitere neue Bahnhöfe; so wird beispielsweise der Flughafen erstmals an den Fern- und an den Regionalverkehr angeschlossen. Im Rahmen von „Stuttgart 21“ werden zudem viele Kilometer neue Schienenwege, die mit bis zu 250 km/h befahren werden, 59 km Tunnelröhren, 16 Tunnel und Durchlässe sowie 44 Brücken gebaut. „Stuttgart 21“ trägt dazu bei, die Reisezeiten im Fern- und im Regionalverkehr erheblich zu verkürzen und verlagert so Verkehr von der Straße auf die Schiene. Auf der betreffenden Internetseite der Deutschen Bahn gibt es eine Fülle an Informationen dazu. Der QR-Code führt direkt dorthin.



Links zu den Videos

Der QR-Code links führt zu einem Video der Deutschen Bahn auf „YouTube“, in dem die „Lichtaugen“ komplett beschrieben werden. Der QR-Code in der Mitte zeigt den Vorwärmvorgang mit dem Induktor „Robbiduktor F Maxx“, so wie er auf der Baustelle verwendet wird. Der QR-Code rechts zeigt als Wärmebildvideo mit Blick auf die Kante des Knotenprofils das Erwärmungsverhalten mit dem V-förmigen Spezialinduktor. Dabei ist mit den angezeigten Temperaturen bei berührungsloser Messung wie immer Vorsicht angesagt. Eine Wärmebildkamera ist kein Temperatur-Messinstrument, aber sehr



hilfreich, um einen Temperaturverlauf zu verstehen. Die Starttemperatur war beispielsweise bei etwa 23 °C (angezeigt 41 °C), die Endtemperatur am Messpunkt in der Mitte des Wärmebilds war nicht bei den angezeigten 230 °C, sondern knapp unter 200 °C. Insofern ist es wichtig, immer ein kalibriertes Messgerät mit Anlegefühler zu haben.

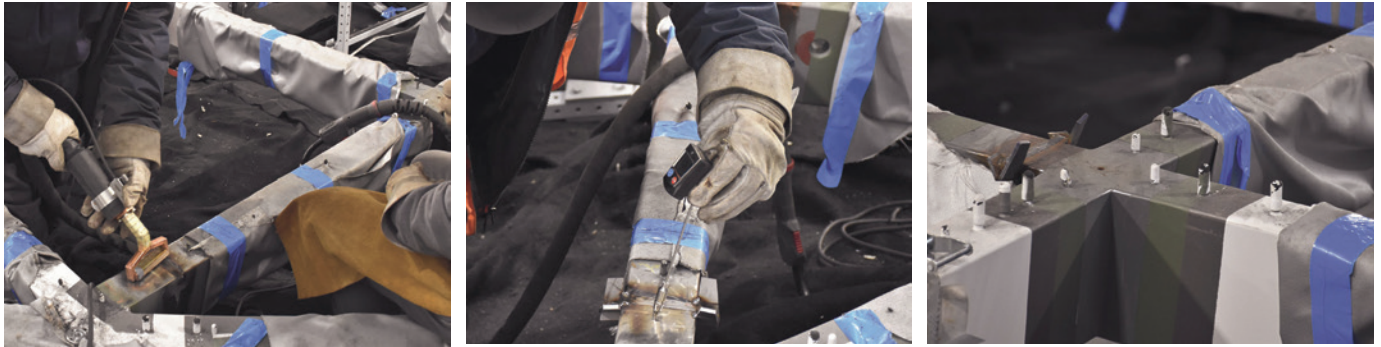


Bild 11: Links: Vorwärmen mit dem Induktor von Hand; Mitte: Messung der Vorwärmtemperatur; rechts: fertige Schweißnaht vor dem Entfernen der Ein-/Auslaufbleche (© VauQuadrat GmbH)

der älteren Ausgaben der entsprechenden Norm DIN EN ISO 13916 erinnert? In der aktuellen Ausgabe von 2017 wurde diese starre Zeit, die bei oberflächlichen Wärmemethoden wie der Flamme bitter notwendig ist, durch die flexiblere Aussage „nach der erforderlichen Ausgleichszeit“ ersetzt. Und die ist bei tiefenwirksamer Induktion eben sehr kurz. Wer es nicht glaubt, muss das entsprechende Anlegethermometer nur beobachten: Das erwartete, schnelle Abfallen der Oberflächentemperatur findet so nicht statt.

Bild 10 zeigt die dabei für die Handführung verwendete Induktorform, den „Robbiduktor F Maxx“. Dieser erwärmt gleichzeitig eine Zone von 90 mm x 20 mm. Die Aufnahme stammt noch von dem Kleinprojekt, was Anfang 2023 die zwei verschiedenen Wärmeprozesse für Roboter- und Handanwendung definieren half. Die Wärmebildaufnahmen in den Videos hinter den QR-Codes auf der vorletzten Seite

des Beitrags stammen übrigens auch aus den Ergebnissen dieses Kleinprojekts.

Schweißfachingenieur Hirschfeld zur Anwendung der Tiefeninduktion bei der Vorwärmung: „Der Prozess ist einfach zu erlernen, was bei der großen Zahl an Bedienern wichtig ist. Die Vorwärmung braucht wenig Zeit, und vor allem streut die Hitze nicht so stark. Dadurch haben wir keine Begleitschäden, obwohl die abgeklebte Beschichtung im direkten Umfeld ist.“

Bild 11 zeigt links das eigentliche Vorwärmen mit dem Induktor von Hand auf der Baustelle. Erkennbar sind die Seitennähte schon

geschweißt und geschliffen, und es geht um die Vorwärmung für die obere Naht. In der Mitte sieht man die Messung der Vorwärmtemperatur mit einem Anlegefühler-Thermometer. Rechts ist eine fertig geschweißte, obere Naht vor dem Entfernen der Ein-/Auslaufbleche zu sehen. Gut zu erkennen ist, wie nahe die Beschichtung an die Schweißnaht heranreicht.

Bleibt an dieser Stelle, dem Team von seele in Gersthofen, Pilsen und auf der Baustelle in Stuttgart sowie Michael Westermeier vom ibmw für die Unterstützung bei der Erstellung dieses Beitrags zu danken. ■



Dipl.-Ing. Thomas Vauderwange MBA (SFI/IWE)
Geschäftsführer
VauQuadrat GmbH
tv@vauquadrat.com



Kein Platz fürs V4? Kein Problem. Das Split-Tiefeninduktionsgerät VauQuadrat V7 schafft den Kühler weg aus dem Arbeitsbereich - bis 50 m. Auch als Doppelkopfanlage V7B.

Der Rollkoffer fährt auch auf Portal und Roboter mit.

Kontakt:
VauQuadrat GmbH
Zum Grossen Deich 46
D-77656 Offenburg
info@vauquadrat.com Tel. +49 781 968246-11

