

Marc Buonomo
Francis Roos
Falko Schröter

Das große Viadukt von Millau – Stahlbau und Montage mit hochfesten Feinkornbaustählen

Im Süden des französischen Massif Centrale wurde am 16. Dezember 2004 das große Viadukt von Millau, eine 2460 m lange Multi-Schrägseilbrücke, dem Verkehr übergeben. Dieses Bauwerk umfaßt sechs Hauptfelder à 342 m Länge sowie zwei Randfelder von jeweils 204 m Länge. Der Stahlüberbau wird aus einer orthotropen Kastenkonstruktion von 27,75 m Breite mit einer maximalen Bauhöhe von 4,20 m gebildet, die wegen der auftretenden Windbelastungen aerodynamisch optimiert wurde. Sieben stählerne Pylone halten über jeweils 2 × 11 Schrägseilbündel diese Deckkonstruktion in einer Höhe bis zu 270 m über dem Fluß Tarn, somit die höchste Brücke der Welt, die mit einer Gesamtbauhöhe von 343 m sogar den Pariser Eiffelturm überragt.

The Millau Viaduct – Steel construction, fabrication and erection with high-strength fine grain steel. 16th of December 2004 the Millau Viaduct, a 2460 m long multi cable-stayed bridge, was opened of traffic in the Southern part of the French Massif Centrale mountains. This bridge comprises 6 main spans of 342 m length respectively and two side spans of 204 m length respectively. The steel superstructure consists of an orthotropic box deck of 27.75 m width and a maximum height of 4.20 m aerodynamically optimised due to the enormous wind loads in the valley. The deck is fixed to the 7 steel pylons via 22 stay cables per pylon in a height of up to 270 m above the river Tarn. Thus this viaduct represents the highest bridge in world with a total height of 343 m, even more than the Eiffel Tower in Paris.

seilbrücke, deren ursprünglicher Entwurf einen Bau nicht nur der Pfeiler sondern auch des Deckkonstruktion und der Pylone in Beton vorsah. Nach Eröffnung der Ausschreibung im Juli 2000 wurde im Oktober die Baukonzession an den Konzern Eiffage mit seiner Tochter Eiffel erteilt, die einzige Bietergemeinschaft, die eine alternative Lösung mit Deckkonstruktion und Pylonen in Stahl vorgeschlagen hat. Dieser Konzern hat das Recht, diese mautpflichtige Brücke über einen Zeitraum von 78 Jahren zu nutzen. Baubeginn war Oktober 2001. Die Gesamtbauzeit betrug 38 Monate. Am 16. Dezember 2004 konnte das Viadukt dem Verkehr übergeben werden.

1 Einleitung

Um die regelmäßige Überlastung der einzigen geschlossenen französischen Nord-Süd-Autobahnverbindung über Dijon-Lyon-Valence zu reduzieren, beschloß der französische Staat im Jahre 1980 den Bau einer weiteren Nord-Süd-Trasse von Paris über Clermont-Ferrand nach Montpellier. Südlich von Clermont-Ferrand tritt diese Trasse in das Gebirge des Massif Centrale ein, wobei Paßhöhen bis 1100 m Höhe überquert werden (Bild 1). Bis zuletzt stellte das weite Tal des Flusses Tarn das letzte natürliche Hindernis zur Schließung der Autobahn dar. Das Viadukt von Millau hat die Aufgabe, diese letzte Lücke zu schließen.

Nach Ausschreibung eines Wettbewerbs, an dem fünf Kooperationen von Architektur- und Ingenieurbüros teilnahmen, einigte man sich im Juli 1996 auf den Bau einer Multi-Schräg-

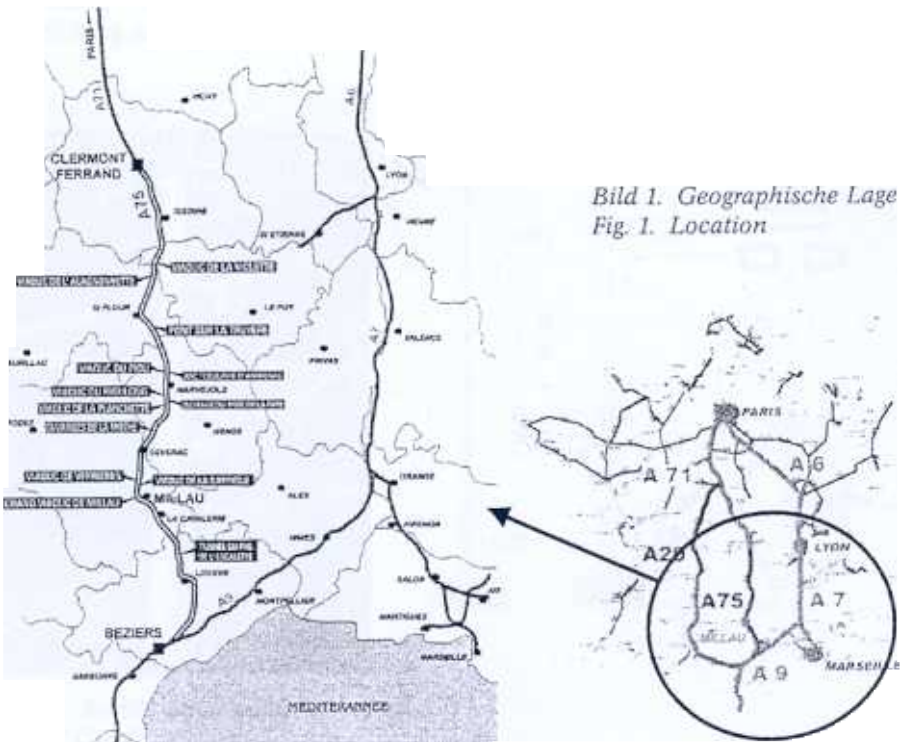


Bild 1. Geographische Lage
Fig. 1. Location

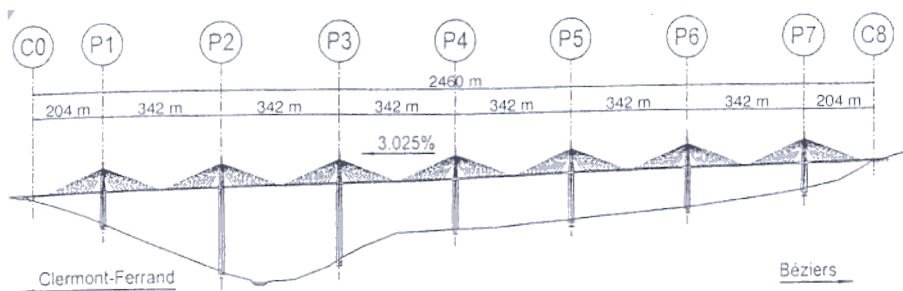


Bild 2. Längsschnitt der Brücke [1]
Fig. 2. Longitudinal section of the bridge [1]

2 Allgemeine Baubeschreibung

Nach technischen wie auch architektonischen Überlegungen wurde eine möglichst leichte und elegante Bauform der Brücke angestrebt, um die Beeinträchtigung der Landschaft so gering wie möglich zu halten. Das Ausmaß der Bodenberührung war zu minimieren.

Bei einer Gesamtlänge von 2460 m ist das Bauwerk leicht gekrümmt in einem Radius von 20000 m. Das Gefälle von Nord nach Süd beträgt 3,025 % (Bild 2). Der durchlaufende Deckträger, der aus Sicherheitsgründen aber zum Schutz gegen seitliche Winde mit schweren Schutzplanken ausgestattet ist, setzt sich aus zwei Randfeldern von jeweils 204 m sowie sechs Feldern von je 342 m zusammen und überquert den Fluß Tarn in einer Höhe bis zu 270 m.

Die Wahl eines stählernen Fahrbahndecks ergab sich aus den Voraussetzungen eines schmalen seilverspannten Überbaus, der den in einer solchen Höhe vorkommenden Windböen möglichst wenig Angriffsfläche bieten sollte. So ist die Brücke für Windlasten bis zu einer Geschwindigkeit von 205 km/h ausgelegt, für die Horizontal- und Vertikalverschiebungen von 60 bzw. 85 mm errechnet wurden.

2.1 Brückenpfeiler

Die Brückenpfeiler im unteren Abschnitt wurden als monolithische Solitärpfeiler in Kastenbauweise konzipiert, die sich im oberen Abschnitt etwa 90 m unterhalb der Fahrbahn aufteilen, um die aus der Aneinanderreihung großer Stützweiten resultierenden beträchtlichen Biegemomente aufzufangen. Entsprechend der Topographie weisen die Pfeiler unter-

schiedliche Höhen auf: 94,50 m; 244,96 m; 221,05 m; 144,21 m; 136,42 m; 111,94 m; 77,56 m. Der Querschnitt der Pfeiler ist über die ganze Höhe veränderlich, um den auf sie wirkenden Momentenbelastungen Rechnung zu tragen (Bild 3). Während in Längsrichtung der Brücke ihre Abmessung relativ konstant bleibt (zwischen 16 und 17 m), variiert die Breite in Querrichtung zwischen 10 m an der Spitze und 27 m an der Basis des höchsten Pfeilers. Auch im geteilten Abschnitt schwankt die Breite dieser Pfeiler parallel zur Achse des Viadukt zwischen 5 m an der Spitze und 8,60 m an der Basis. Diese Form erlaubt einen besseren Abtrag von Wärmedehnungen an den Pfeilerspitzen.

Die geteilten Pfeilerspitzen wurden über ihre gesamte Höhe mit Hilfe von acht Spanngliedern vorgespannt, um die Dichte an passiver Bewehrung und damit das Ausmaß an passiver Rißbildung zu reduzieren.



Bild 3. Konstruktion der Brückenpfeiler [1]
Fig. 3. Construction of the piers [1]

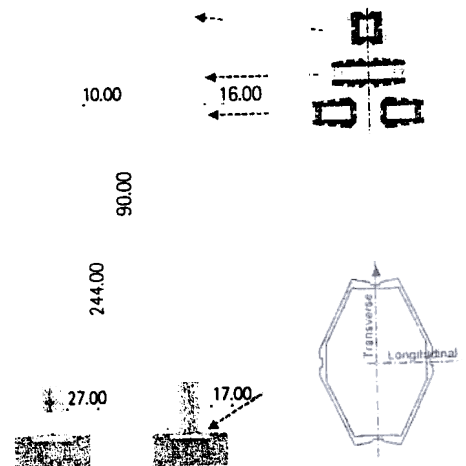
Sämtliche Brückenpfeiler ruhen auf einem mitteltiefen Gründungssystem, gebildet aus einer rechteckigen Sohle von 3,5 bis 5 m Kantenmaß, das auf einer vierschächtigen Tiefgründung von 5 mm Durchmesser und einer Tiefe von 9 bis 16 m ruht.

2.2 Pylone und Seile

Die sieben stählernen Pylone wurden als längs ausgerichtet, auf den Kopf gestellte „Y“ ausgebildet, die in der Verlängerung der aufgespaltenen Oberteile der Brückenpfeiler liegen. Die Verbindung zwischen Pylon und Überbau erfolgt durch einen Stahl-Querriegel in der Fahrbahnplatte auf Höhe der beiden Pfeilerfußpunkte.

Die Gesamthöhe der Pfeiler (Bild 4) beträgt 87 m. Die Beine der Y-Elemente weisen eine Höhe von 38 m auf und sind in Form von zwei versteiften Stahlbaukästen mit Abmessungen von 3,50 m in Querrichtung und 4,75 m in Längsrichtung ausgeführt. Die Querabmessungen der 49 m hohen Masten ist identisch mit denen der Pylonbeine; ihre Längsabmessungen variieren zwischen 9,70 m an der Basis und 2,40 m an der Spitze.

Die an den Pylonen befestigten Verbände von zweimal 11 Schrägseilen bestehen aus 45 bis 91 Litzen von 150 mm² Querschnittsfläche. Die Litzen sind verzinkt, gewachst und individuell durch hochdichtes Polyurethan geschützt. Insgesamt kommen 1500 t Seile zur Anwendung.



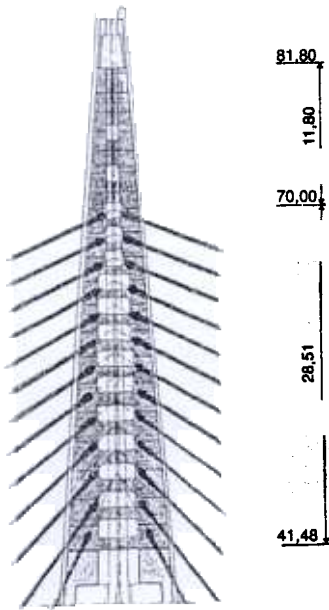
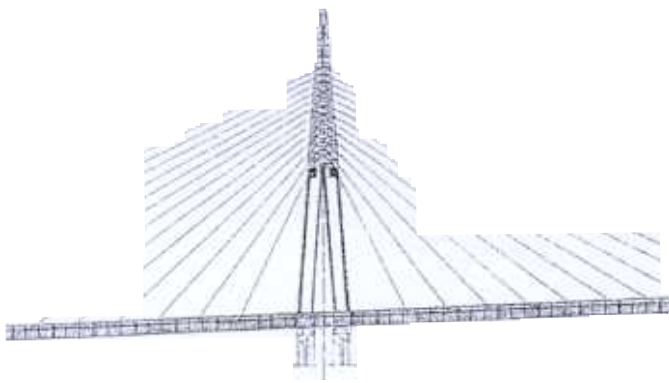


Bild 4. Konstruktion der Pylone
Fig. 4. Construction of the pylons

2.3 Stahl-Deckkonstruktion

Die Deckkonstruktion ist über eine Art Kugelgelenk mit den Pfeilern verbunden. Um ein etwaiges Abheben bei Erreichen von Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit zu vermeiden, sind die Auflagerpunkte mit Hilfe von Spanngliedern an den Brückenpfeilern verankert.

Insgesamt setzt sich die Deckkonstruktion aus den folgenden funktionellen Elementen zusammen (Bild 5):

- 2 x 2 Fahrspuren à 3,50 m Breite
- 2 Standstreifen à 3 m Breite
- 2 Randstreifen im Innern à 1 m Breite
- 1 Mittelstreifen von 4,50 m Breite

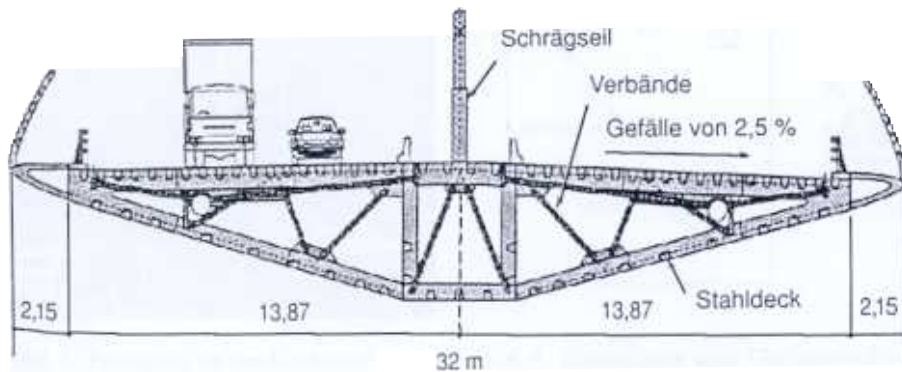


Bild 5. Querschnitt der Brücke
Fig. 5. Cross-section of the bridge

- 2 seitliche Aufsätze à 2,15 m Breite, die den 3,20 m hohen Windschutz tragen.

Das Fahrbahndeck setzt sich aus einem trapezförmigen Stahlkasten von bis zu 4,20 m Höhe mit orthotropen Platten aus 12 bis 14 mm dicken Stahlblechen unterhalb der Überholspur und 14 mm Blechdicke unterhalb der Schwerlastspur zusammen. In Querrichtung wird die Aussteifung der Fahrbahnplatte durch Querverbände im Abstand von 4,17 m gebildet. Die Längsversteifung besteht aus Trapezhohlsteifen, die durch die Querverbände geführt werden. Senkrechte Stege im Abstand von 4 m versteifen die Brücke über ihre gesamte Länge.

3 Stahlbau des Überbaus

Der Querschnitt des Stahlüberbaus wurde in Hinblick auf die Fertigungsmöglichkeiten in den Werkstätten sowie die Transportkapazitäten optimiert. Wie Bild 6 zeigt, setzt er sich aus den folgenden Elementen zusammen:

- ein Mittelkasten (Höhe: 4,20 m, Breite: 4,00 m) mit Blechdicken bis zu 80 mm
- mit Hohlsteifen längs ausgesteiften Verbindungspaneln von 3,70 m bis 4,20 m Breite
- zwei seitlichen Kästen von 3,84 m Breite
- queraussteifenden Verbänden als UPN-Profil.

Die Fertigung des Überbaus teilt sich auf die folgenden Schritte auf:

- Fertigung der Einzelteile des Mittelkastens, der Verbindungspanele sowie der seitlichen Kästen in der Fertigungsstätte Lauterbourg im Elsaß (Bild 7)
- Transport der Verbindungspanele und der seitlichen Kästen direkt zur Baustelle sowie der Einzelteile des mittleren Kastens nach Fos-sur-Mer an der französischen Mittelmeerküste
- Zusammenbau des Mittelkastens in der Werkstatt in Fos-sur-Mer und anschließender Transport zur Baustelle.

Um die dargestellten Fertigungsschritte in dem gesetzten Zeitplan umzusetzen, wurden am Standort Lauterbourg umfangreiche Investitionen durchgeführt:

- eine Plasmaschneidanlage mit einer Schnittgeschwindigkeit von bis zu 1,80 m/min

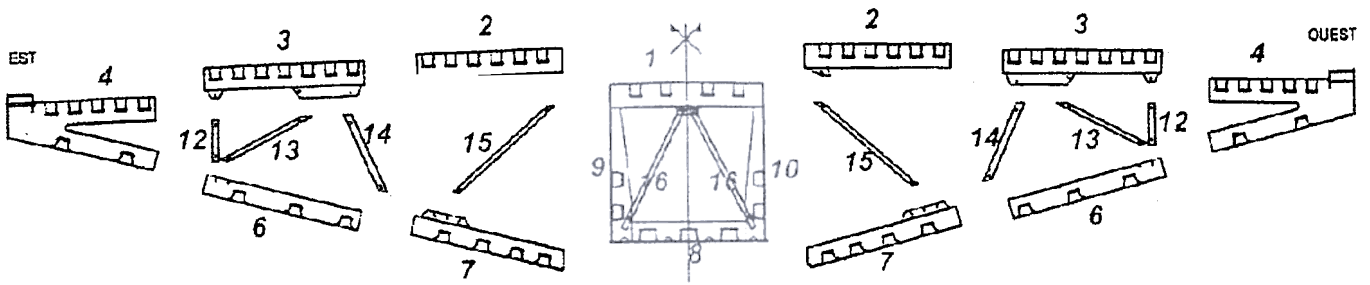


Bild 6. Fertigungselemente des Überbaus
Fig. 6. Fabrication units of the steel deck

- ein Zwei-Kopf-Schweißroboter
- eine lasermetrische Vermessungsanlage
- Transportsysteme mit 160-t-Portal-kran.

Die angelieferten Bleche in Breiten von bis 4200 mm werden auf der Plasma-Brennschneidanlage mit einer Überlänge von 25 mm zurechtgeschnitten. Zur Berücksichtigung der Schrumpfungsbinderung während des Aufschweißens der Hohlsteifen wird ferner ein Fertigungsaufmaß von 1 mm pro Steife in der Breite berücksichtigt. Ferner erfolgt eine Hartmarkierung mit allen zur Verfolgung notwendigen Daten sowie eine Positionierung der Hohlsteifen.

Die Hohlsteifen werden mit zwei 2-Kopf-Schweißrobotern im UP-Verfahren mit Doppeldraht auf die gespannten Deckbleche geschweißt. Danach werden die Quersteifen aufgesetzt und mit einem Schweißroboter mit zwei Köpfen im MAG-Verfahren mit dem Deckblech und den Hohlsteifen verschweißt. Danach werden die Schweißnähte mit verschiedenen Verfahren überprüft, die Abmessungen lasermetrisch kontrolliert. Abschließend erfolgt eine erste Beschichtung der Elemente.

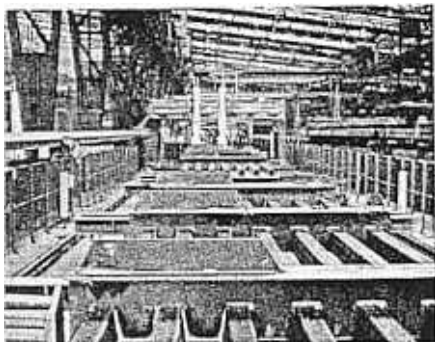


Bild 7. Fertigung in der Werkstatt Lauterbourg
Fig. 7. Fabrication in the Lauterbourg workshop

Mit Sondertransporten werden die Elemente zur Baustelle gebracht. Die Einzelteile des Mittelkastens werden zum Zusammenbau in die Werkstatt Fos-sur-Mer überführt und dort auf zwei eigens dafür konstruierten Haltevorrichtungen zusammengesetzt und verschweißt. Nach 100 % Schweißnahtkontrolle und Abmessungsüberprüfung werden die 15 bis 22 m langen Kasten-elemente mit einem Bauteilgewicht von bis zu 90 t zur Baustelle nach Millau transportiert. Im Mittel werden drei solcher Kasten-elemente pro Woche ausgeliefert.

Die seitlichen Verbindungspanele sowie die Seitenkästen werden in Längen von 20 bis 24 m und einem Bauteilgewicht von 40 t direkt zur Baustelle transportiert.

Insgesamt waren mehr als 2000 LKW-Transporte notwendig.

4 Verwendete Stahlsorten

Für die Deckkonstruktion kamen rund 36000 t Grobblech hauptsächlich in den Stahlgüten S 355 K2 G3 und

S 460 M/ML zur Anwendung, für die sieben Pylone noch einmal rund 4600 t. Der höherfeste Feinkornbaustahl S 460 M/ML wurde dabei in Dicken bis 80 mm für den Mittelkasten sowie angrenzende Verbindungs-pane-le sowie für die Pylone eingesetzt. Dabei fand die Güte S 460 M (d. h. nachgewiesene Kerbschlagarbeit von 40 J bei -20°C) Anwendung bis zu einer Dicke von 50 mm; darüber kam die tieftemperaturzähe Güte S 460 ML (nachgewiesene Kerbschlagarbeit von 27 J bei -50°C) zum Einsatz.

Thermomechanisch gewalzte Feinkornbaustähle sind nach DIN EN 10113-3 genormt und werden durch eine spezielle Kombination von Walzen und Wärmebehandlung hergestellt, die dem Stahl eine besonders feine Gefügestruktur verleiht (Bild 8). In der Folge können Grobbleche mit Streckgrenzen bis zu 500 MPa erzeugt werden, ohne auf umfangreiche Legierungsgehalte zurückzugreifen. So vergleicht Tabelle 1 die chemische Zusammensetzung eines im Brückenbau üblichen S 355 J2 G3 mit dem normalisierten Feinkornbaustahl S 460 N

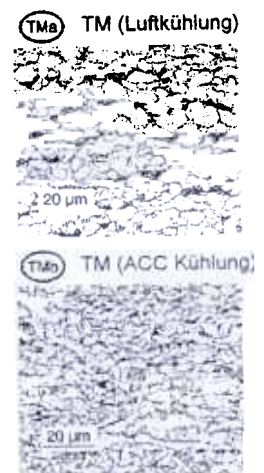
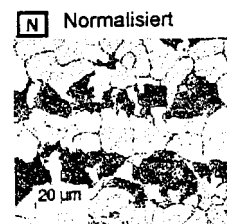
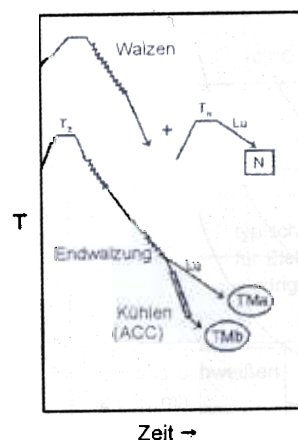


Bild 8. Herstellung und Gefügestruktur der thermomechanisch gewalzten Stähle im Vergleich zu normalisierten Stählen
Fig. 8. Fabrication and grain structure of thermomechanically rolled steel in comparison to normalised steel

Tabelle 1. Chemische Zusammensetzung verschiedener Stähle (Maximalwerte nach Norm sowie typische Produktionswerte bei 50 mm Erzeugnisdicke)
Table 1. Chemical composition of various steel grades (maximum values according to the standard and typical analyses at 50 mm plate thickness)

	S 355 J2 G3		S 460 NL		S 460 ML	
	Norm	typ. Ana.	Norm	typ. Ana.	Norm	typ. Ana.
C	≤ 0,22	0,17	≥ 0,20	0,17	≤ 0,16	0,08
Si	≤ 0,55	0,45	≤ 0,60	0,45	≤ 0,60	0,46
Mn	≤ 1,60	1,50	≤ 1,70	1,65	≤ 1,70	1,65
P	≤ 0,035	0,018	≤ 0,030	0,012	≤ 0,030	0,011
S	≤ 0,035	0,015	≤ 0,025	0,005	≤ 0,025	0,002
Nb	-	-	≤ 0,05	-	≤ 0,05	≥ 0,04
V	-	-	≤ 0,20	0,17	≤ 0,12	-
Mo	-	-	≤ 0,10	-	≤ 0,20	-
Ni	-	-	≤ 0,80	0,23	≤ 0,45	0,19
Cr	-	-	≤ 0,30	-	≤ 0,60	-
Cu	≤ 0,035	-	≤ 0,70	-	≤ 0,60	0,17
B	-	-	-	-	-	-
CE	-	0,42	-	0,50	-	0,39
Pcm	-	0,26	-	0,28	-	0,19
CET	-	0,32	-	0,34	-	0,26

Kohlenstoffäquivalente:

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

$$Pcm = C + Si/30 + (Mn + Cu + Cr)/20 + Ni/60 + Mo/15 + V/10 + 5B$$

$$CET = C + (Mn + Mo)/10 + (Cr + Cu)/20 + Ni/40$$

und dem thermomechanisch gewalzten Feinkornbaustahl S 460 M. So kann ein S 460 M trotz der höheren Festigkeiten durchaus niedrigere Kohlenstoffäquivalente als ein S 355 J2 G3 aufweisen.

In der Folge ergibt sich eine hohe Schweißseignung dieses Stahles, die sich in niedrigen Vorwärmtemperatu-

ren äußert. Unter entsprechenden Bedingungen kann sogar ganz auf ein Vorwärmen verzichtet werden (Bild 9).

Gute Schweißseigenschaften sowie eine hohe Bauteilsicherheit werden aber auch dadurch erzielt, daß die feinkörnige Kornstruktur auch in hohen Zähigkeiten des Stahles resultiert, wie Bild 10 im Vergleich der Kerbschlagar-

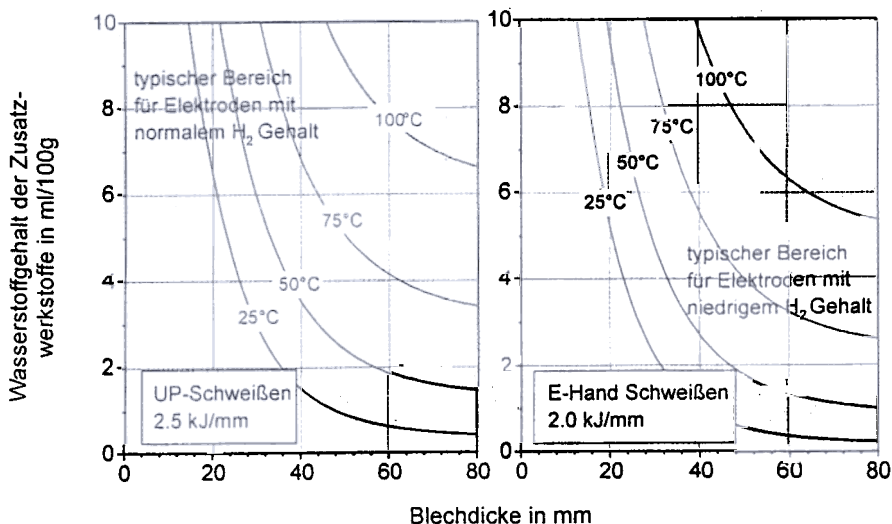


Bild 9. Vorwärmtemperaturen für S 460 M nach SEW 088 [2]

Fig. 9. Preheating temperatures for S 460 M according to SEW 088 [2]

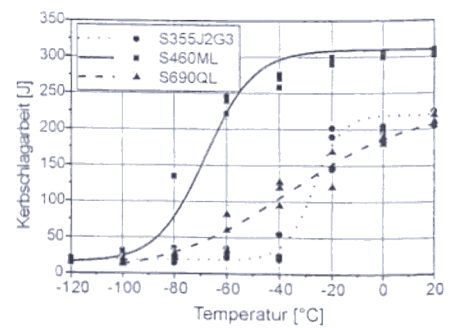


Bild 10. Kerbschlagarbeit-Temperatur-Übergangskurve für S 460 ML in Vergleich mit anderen Stählen

Fig. 10. Charpy-V-temperature transition curves for S 460 ML in comparison to other steel grades

beit-Temperatur-Übergangskurve zeigt. Weiterführende Literatur zu diesen Stählen findet sich in [3] bis [5].

Höherfeste Feinkornbaustähle finden im französischen Brückenbau seit 1993 Anwendung und haben sich inzwischen zu einem Standardprodukt insbesondere für den Großbrückenbau etabliert. So greifen auch zwei Neubrückenbauten in unmittelbarer Nachbarschaft des Viaduc de Millau, die Brücke Verrières und die Brücke Les Garrigues, auf diese Stahlarten zurück; letztere sogar mit Blechen in einer Rekorddicke von 120 mm.

5 Montage

5.1 Montage des Decks vor Ort

An den beiden Widerlagern wurden zwei Vormontageplätze eingerichtet, an denen die Komponenten des Stahldecks zusammenschweißt wurden. Jeder Vormontageplatz von 171 m Länge ist mit einer Einhausung und einem 90-t-Portalkran ausgestattet und gliedert sich in jeweils drei Teile für das Zusammenschweißen des Mittelkastens, das Verbinden mit den seitlichen Elementen sowie einen für die Ausrüstung mit dem Windfang sowie den abschließenden Korrosionsschutz. Pro Vormontageplatz kommen bis 75 Schweißer zum Einsatz. Stumpfstöße werden ultraschallgeprüft, Kehlnähte mit Magnetpulverprüfung. Im Inneren des Kastens wird der Schweißprozeß MAG-Fülldraht (vereinzelt auch Innershield) benutzt; von außen zugängliche Nähte werden mit einem UP-Tandem-Verfahren verschweißt (Bild 11).

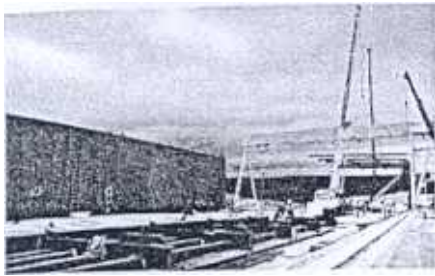


Bild 11. Vormontageplatz
Fig. 11. Pre-assembly at site

5.2 Taktschieben des Decks

Das Deck wird in Einheiten von 171 m vorgeschoben. Dazu sind zwischen den Pfeilern Hilfsstützen installiert, die nach der Montage wieder entfernt werden. Die Hilfsstützen bestehen aus Stahlrohrbauten mit einer quadratischen Grundfläche von 12 m Kantenlänge, die bei einer Höhe bis zu 175 m nach dem Teleskopverfahren errichtet werden.

Insgesamt wird die Brücke von der Nordseite um 717 m vorgeschoben, von der Südseite um 1743 m. Ein Verschieben kann dabei bei Windgeschwindigkeiten bis zu 85 km/h auf Höhe der Fahrbahntafel stattfinden.

Während des Taktschiebens ist der Kragarm des Decks mit einem hydraulisch höhenjustierbaren Vorbau schnabel von 59 m Länge ausgerüstet. Ferner wird die Steifigkeit des Kragarms dadurch gewährleistet, daß die Pylone an den beiden Spitzen schon vor dem ersten Verschieben auf das Deck montiert wurden, dieses mit provisorischen Seilen halten und mit eingeschoben werden (Bilder 12 und 13).



Bild 12. Blick auf das nördliche Widerlager Anfang Mai 2004
Fig. 12. Northern abutment beginning of Mai 2004



Bild 13. Überblick Anfang Mai 2004
Fig. 13. Panorama beginning of Mai 2004

Der eigentliche Vorschub geschieht mit einem Verband von 64 Hydrauliksystemen in einer Frequenz von 600 mm pro Bewegung, die 4 min dauert. Sämtliche hydraulische Verschiebewegungen werden über einen Zentralrechner synchronisiert.

Außer an den Randpfeilern entspricht das Verschiebeniveau der endgültigen Höhelage des Decks. Dagegen befinden sich die Verschiebelager 5,40 m und die Verschiebehöhe auf den Randpfeilern 4,80 m über dieser Endhöhe, so daß die Rückführung auf die Endhöhe durch eine in Längsrichtung doppelt geschwungene Linieneinführung erfolgt.

Nachdem im April 2004 die Vereinigung der beiden Deckteile über der Tarn stattgefunden hat, wurden die restlichen Pylone mit einem Stückgewicht von 650 t zusammenschweißt, mit Hilfe eines Seil-Einzugsystems in Position gebracht und mit dem Deck verschweißt. Abschließend wurden die Schrägeilkabel angebracht und die Hilfsstützen entfernt.

6 Schlußbemerkung

Im vorliegenden Beitrag wurde über eines der größten europäischen Stahlbrückenprojekte der letzten Jahre berichtet. Nicht nur hat die große Brücke von Millau einige Baurekorde gebrochen – in Fertigung und Montage konnte ein hohes Niveau der Serienfertigung zur wirtschaftlichen aber auch terminlichen Optimierung erreicht werden. So wurde die Brücke einen Monat vor dem ursprünglich geplanten Eröffnungstermin am 16. Dezember 2004 dem Verkehr übergeben. Durch die längere Amortisierung des Projekts mit einer Mautgebühr pro PKW von rund 4,90 € pro Überfahrt (6,50 € im Sommer) konnte so auch der wirtschaftliche Betrieb des privat finanzierten Projekts sichergestellt werden.

Am Bau Beteiligte:

Bauherr – Konzessionär: Compagnie Eiffage du Viaduc de Millau
Entwurf: Michel Virlogeux
Architekt: Norman Foster
Vorentwurf: SETRA
Statik: Greisch, EEG Simescol, Thales E et C, Serf, STOA Eiffage, Arcadis
Bauausführung in ARGE (Leitung): Eiffage TP
Betonbau: Eiffage Construction
Stahlbau (federführend): Eiffel Construction Métallique
Stahl-Grobblech: AG der Dillinger Hüttenwerke

Literatur

- [1] Buonomo, M., Servant, C., Virlogeux, M., Cremer, J.-M., de Ville de Goyet, V., Del Forno, J.-Y.: Description du projet et construction de l'ouvrage. Bulletin Ponts Métalliques 23 (2004), OTUA, S. 46–61.
- [2] Verein Deutscher Eisenhüttenleute: Stahl-Eisen-Werkstoffblatt SEW 088, Schweißgeeignete Feinkornbaustähle, Richtlinien für die Verarbeitung besonders für das Schmelzschweißen. Düsseldorf: Verlag Stahleisen, Oktober 1993.
- [3] Hubo, R., Schröter, F.: Thermomechanisch gewalzte Stähle – Hochleistungsprodukte für einen effizienten Stahlbau. Bauingenieur 76 (2001), S. 459–463.
- [4] Hever, M., Schröter, F.: Modern steel – High performance material for high performance bridges. 5th International Symposium on Steel Bridges, März 2003, Barcelona, pp. 80–91.
- [5] Hanus, F. E.: Flammrichtern thermomechanisch gewalzter Baustähle. Schweißen und Schneiden 46 (1994), Heft 4, S. 248–257.

Autoren dieses Beitrages:

Dipl.-Ing. Marc Buonomo und Francis Roos,
Eiffel Construction Métallique, Route de Mothere, F – 67630 Lauterbourg, Dr.-Ing. Falko Schröter, AG der Dillinger Hüttenwerke, Postfach 1580, D – 66748 Dillingen/Saar