

# Höher als der Eiffelturm

## Stahlbau an der höchsten Brücke der Welt, dem Viaduc de Millau

Dr.-Ing. Falko Schröter, Dillingen



### Zusammenfassung

Im Süden des französischen Massif Centrale wurde am 16. Dezember 2004 die große Talbrücke von Millau, eine 2460 m lange Multischrägeiselbrücke, dem Verkehr übergeben. Damit wurde die zweite französische Nord-Süd-Autobahnverbindung geschlossen. Die Rekordbrücke setzt sich aus 6 Hauptfeldern à 342 m Länge sowie zwei Randfeldern von jeweils 204 m Länge zusammen. Der Stahl-Überbau wird aus einer orthotropen Kastenkonstruktion von 27,75 m Breite mit einer maximalen Bauhöhe von 4,20 m gebildet. Sieben stählerne Pylone halten über jeweils 2 x 11 Schrägeiselbündel 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.

### 1. Übersicht

Die einzige geschlossene französische Nord-Süd-Autobahnverbindung über Dijon-Lyon-Valence ist vor allem in den Sommermonaten stark belastet. Deshalb wurde schon 1980 der Bau einer weiteren Nord-Süd-Trasse von Paris über Clermont-Ferrand nach Montpellier beschlossen. Südlich von Clermont-Ferrand tritt diese Trasse in das Gebirge des Massif Centrale ein, wobei Passhöhen bis 1.100 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 Untersuchung mehrerer Trassenvorschläge fiel 1990 die Entscheidung für eine „hohe“ Alternative, die den Tarn in rund 270 m Höhe überquert.

1995 wurde ein Wettbewerb ausgeschrieben, an dem fünf Kooperationen von Architektur- und Ingenieurbüros teilnahmen. Im Juli 1996 einigte man sich auf den Bau einer achtfeldrigen Multi-Schrägeiselbrücke, deren ursprünglicher Entwurf nach Sir Norman Foster 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 Construction Métallique erteilt, die einzige Bietergemeinschaft, die eine alternative Lösung mit Deckkonstruktion und Pylonen in Stahl vorgeschlagen hat. Die Grundsteinlegung erfolgte am 16.10.2001. Nach 38-monatiger Bauzeit konnte das Viadukt am 16. Dezember 2004 dem Verkehr übergeben werden [1].

Die Compagnie d'Eiffage du Viaduc de Millau hat als Konzessionär das Recht, diese mautpflichtige Brücke über einen Zeitraum von 78 Jahren zu nutzen. Die Mautgebühr für PKW beträgt 4,90 Eur, in den Sommermonaten 6,50 Eur.

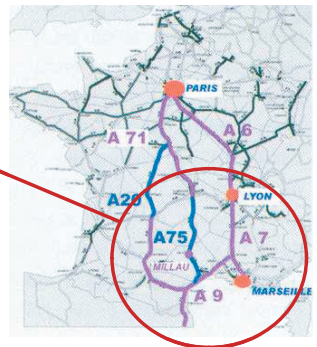
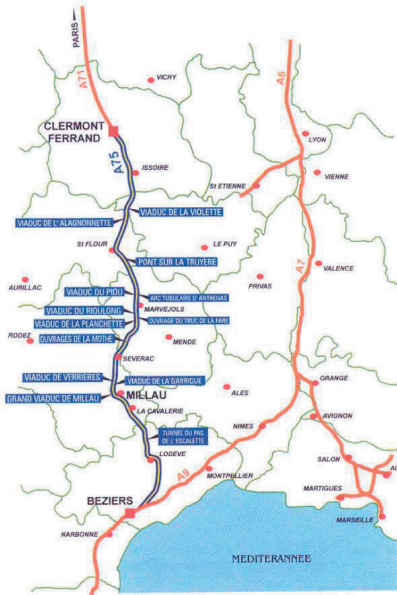


Bild 1 Geographische Lage [1]

## 2. Baubeschreibung

Bei einer Gesamtlänge von 2.460 m ist das Bauwerk leicht gekrümmt in einem Radius von 20.000 m. Das Gefälle von Nord nach Süd beträgt 3,025 % (Bild 2). Der durchlaufende Deckträger, der aus Sicherheitsgründen zum Schutz gegen seitliche Winde mit schweren Schutzplanken ausgestattet ist, setzt sich aus zwei Randfeldern von jeweils 204 m sowie

Das große Viadukt von Millau

# Gigant in Grobblech

DILLINGER HÜTTE GTS  
lieferte 43.000 t Grobblech  
davon 18.000 t DI-MC 460



DILLINGER HÜTTE GTS

[www.dillinger.de](http://www.dillinger.de)

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. Mit einem Stahldeck konnte so gegenüber der Betonlösung die Höhe des Fahrbahndecks von 4,60 m auf 4,20 m reduziert werden. 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. Ferner ermöglichte der bei Stahlbaukonstruktionen übliche hohe Vorfertigungsgrad in der Werkstatt eine optimale Qualitätssicherung sowie eine weitest mögliche Reduzierung notwendiger Arbeitsschritte in der Höhe.

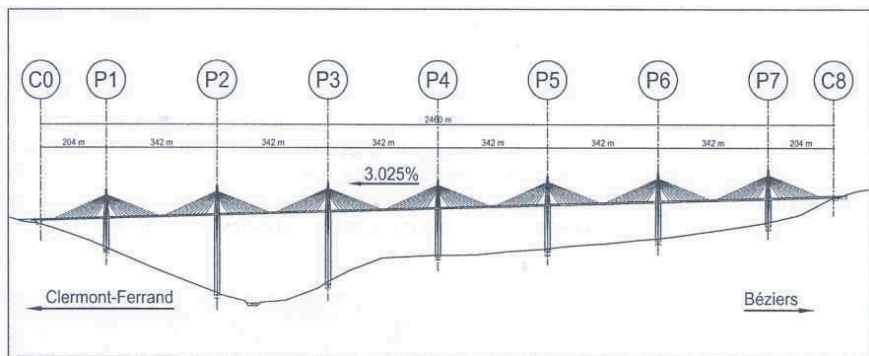


Bild 2 Längsprofil der Brücke [1]

## 2.1 Brückenpfeiler und Widerlager

Die Brückenpfeiler wurden im unteren Abschnitt 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 unterschiedliche Höhen auf: 94,50 m; 244,96 m; 221,05 m; 144,21 m; 136,42 m; 111,94 m; 77,56 m. Damit ist der höchste Pfeiler zugleich auch der höchste Brückenpfeiler der Welt (Bild 3).

Während in Längsrichtung der Brücke die Abmessungen der Pfeiler relativ konstant bleiben (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 Viadukts zwischen 5 m an der Spitze und 8,60 m an der Basis. Diese Form erlaubt einen besseren Abtrag von Wärmedehnungen an den Pfeilerspitzen.

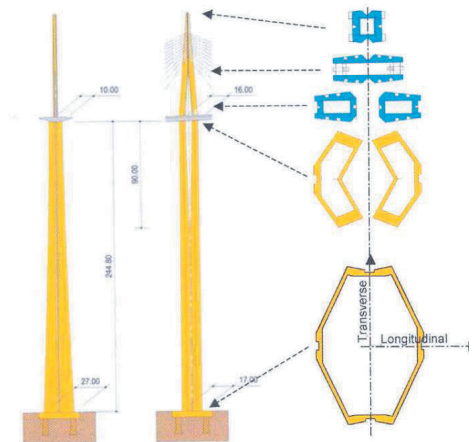
Die geteilten Pfeilerspitzen wurden über ihre gesamte Höhe mit Hilfe von acht Spanngliedern vorgespannt, um die Dichte an passiver Bewehrung und damit das Ausmaß an passiver Rissbildung zu reduzieren.

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.

Insgesamt wurden für Pfeiler und Widerlager rund 85.000 m<sup>3</sup> Beton vergossen. Das Volumen an Bewehrungsstahl beträgt 30.000 t.



Bild 3 Die Konstruktion der Pfeiler [1]



### 3. Pylone und Seile

Die Ausbildung der sieben stählernen Pylone entspricht dem eines auf den Kopf gestellten Y. 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 rund 89 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 elf Schrägseilen bestehen aus 45 bis 91 Litzen von 150 mm<sup>2</sup> Querschnittsfläche. Die Litzen sind verzinkt, gewachst und individuell durch hochdichtes Polyurethan geschützt. Insgesamt kommen 1.500 t Seile zur Anwendung.



Bild 4 Pylone während der Montage

#### 4. Überbau

Der Überbau setzt sich aus den folgenden funktionellen Elementen zusammen:

- 2 x 2 Fahrspuren à 3,50 m Breite,
- 2 Standstreifen à 3 m Breite,
- 2 Randstreifen im Inneren à 1 m Breite,
- 1 Mittelstreifen à 4,50 m Breite,
- 2 seitlichen Aufsätzen à 2,15 m Breite, die den 3,20 m hohen Windschutz tragen.

Das Fahrbahndeck wird dabei aus einem trapezförmigen Stahlkasten von bis zu 4,20 m Höhe mit orthotropen Platten aus 12 bis 14 mm starken Stahlblechen unterhalb der Überholspur und 14 mm Blechstärke unterhalb der Schwerlastspur aufgebaut. In Querrichtung wird die Aussteifung der Fahrbahntafel 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.

Der Mittelkasten wird aus Blechstärken bis zu 80 mm Dicke gebildet.

Der Querschnitt des Stahl-Überbaus wurde im Hinblick auf die Fertigungsmöglichkeiten in den Werkstätten sowie die Transportkapazitäten optimiert. Die Schussteilung setzt sich dabei aus den folgenden Elementen zusammen (Bild 5):

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

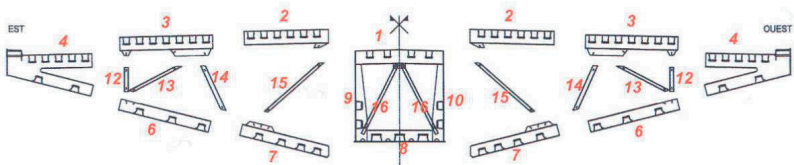


Bild 5 Fertigungselemente des Überbaus [1]

Die Vorfertigung der fast 2.100 Panelplatten (Bild 6) erfolgte in den Stahlbauwerkstätten von Eiffel Construction Métallique in Lauterbourg (Elsass). Zur möglichst effizienten Fertigung wurden dabei vorwiegend Blechbreiten bis 4.200 mm und Längen bis 28 m angeliefert. Die Bleche stammen aus den beiden Werken der AG der Dillinger Hüttenwerke in Dillingen/Saar und Dünkirchen (Frankreich) und wurden zum großen Teil per Binnenschiff angeliefert.



Bild 6 Panelplatten im Werk Lauterbourg vor Versand

Die angelieferten Bleche wurden auf einer Plasma-Brennschneidanlage mit einer Schnittgeschwindigkeit von bis zu 1,8 m/min mit einer Überlänge von 25 mm zurechtgeschnitten. Zur Berücksichtigung der Schrumpfungsbehinderung während des Aufschweißens der Hohlsteifen wird ferner ein Fertigungsaufmaß von 1 mm pro Steife in der Breite berücksichtigt. Danach wurden die Hohlsteifen mit einem 2-Kopf-Schweißroboter im UP-Verfahren aufgeschweißt, die Quersteifen aufgesetzt und im MAG-Verfahren mit Deckblech und Hohlsteifen verschweißt. Danach wurden die Schweißnähte mit verschiedenen Verfahren überprüft und die Abmessungen lasermetrisch kontrolliert. Abschließend erfolgte eine erste Beschichtung der Elemente.

Die Panele der seitlichen Kästen und der Verbindungskästen wurden in LKW-Sondertransporten direkt zur Baustelle transportiert. Die Panele des Mittelkastens wurden nach Fos-sur-Mer am Mittelmeer gebracht und dort zusammenmontiert. Die bis zu 90 t schweren Schüsse des Mittelkastens wurden dann mit Sondertransporten zur Baustelle gebracht (Bild 7). Im Mittel wurden drei solcher Elemente pro Woche ausgeliefert.



Bild 7 Transport der Mittelkästen zur Baustelle

## 5. Verwendete Stahlsorten

Für die Deckkonstruktion kamen ca. 36.000 t Stahlgroblech zur Anwendung. Neben der „normalen“ Baustahlgüte S355K2G3 wurden für große Teile des Mittelkastens sowie einige Deckpanele höherfeste Feinkornbaustähle S460M/ML verwendet (12.000 t). Dabei handelt es sich um thermomechanisch gewalzte Feinkornbaustähle mit einer Nennstreckgrenze von 460 MPa. Diese ermöglichten eine leichtere Ausführung des Decks und somit Vorteile bei der gewichtssensiblen Montage des Decks. Durch eine spezielle Herstellungsmethode sind diese Stähle trotz der höheren Festigkeit gut zu verschweißen, siehe dazu auch [2-4].



Die Grundgüte S460M (Kerbschlagtestung bei  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) kam dabei bis zu einer Dicke von 50 mm zum Einsatz – für größere Dicken wurde auf die tieftemperaturzähe Güte S460ML (Kerbschlagtestung bei  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) zurückgegriffen.

Weitere 4.600 t Konstruktionsstahl wurden für die Pylone verwendet, davon 1.400 t S460ML und 3.200 t S355N/NL. Für die Hilfsstützen kamen weitere 6400 t zum Einsatz.

## 6. Montage

An den beiden Widerlagern wurden zwei Vormontageplätze eingerichtet, an denen die Komponenten des Stahldecks zusammenschweißt wurden. Jeder Vormontageplatz von 171 m Länge war mit einer Einhausung und einem 90 t Portalkran ausgestattet und gliederte 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 kamen bis zu 75 Schweißer zum Einsatz. Stumpfstoße werden mit Ultraschall, Kehlnähte mit Magnetpulver geprüft. Im Inneren des Kastens wurde der Schweißprozess MAG-Fühdraht (vereinzelt auch Innershield) benutzt; von außen zugängliche Nähte wurden mit einem UP-Tandem-Verfahren verschweißt (Bild 8).

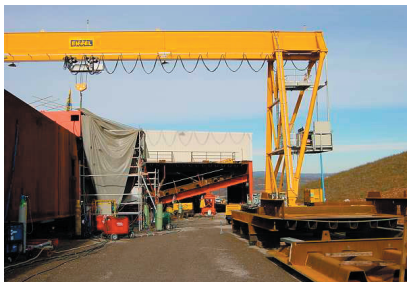


Bild 8 Vormontageplatz



Bild 9 Kastenträger des Decks  
Bild 9 stellt den verschweißten  
Deckträger am Vormontageplatz  
dar.

Nach dem Zusammenschweißen einer Einheit von 171 m am Vormontageplatz erfolgte der Einschub dieses Elements. Ein Fülle technischer Tricks half dabei, die über eine Spannweite von 342 m durch den Kragarm bedingten Durchbiegungen zu reduzieren. Zum einen wurden zwischen den Pfeilern temporäre Hilfsstützen installiert, um die Spannweite zu halbieren. 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 wurden. Die Benutzung eines hydraulisch adjustierbaren Vorbauschnabels von 59 m Länge stellt zum anderen bei diesem Montageverfahren die gängige Praxis dar, nicht aber, dass an den beiden Spitzen schon ein verseilter Pylone mit eingeschoben wurde (Bild 10). Auch dies dient der Verringerung der kragarmbedingten Durchbiegungen.

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



Bild 10 Montagephase

Der eigentliche Vorschub geschah mit einem Verband von 64 Hydrauliksystemen in einer Frequenz von 600 mm pro Bewegung, die vier Minuten dauerte. Sämtliche hydraulische Verschiebebewegungen wurden über einen Zentralrechner synchronisiert.

Außer an den Randpfeilern entsprach das Verschiebeniveau der endgültigen Höhenlage des Decks. Dagegen befanden sich die Verschiebelager 5,40 m und die Verschiebehöhe auf den

# ThyssenKrupp GfT Bautechnik.

Der Systemanbieter im Hafen- und Spezialtiefbau.



## Liefer- und Leistungsprogramm

- **Rammprofile**  
Stahlsplundbohlen System LARSENEN und HOESCH, UNION Flachprofile, WALL-Profile, Kanaldielen, Leichtprofile, LARSENEN-Stahlpfähle, UNION-Stahlpfähle, Peiner Stahlpfähle PST und Peiner Spundwand PSp
- **Einbring- und Ziehtchnik**  
Vibratoren, Baggeranbauvibratoren, Schlagende Rammgeräte, Spundwandpressen, Bohrgeräte, Mäklär- und Trägergeräte, Antriebsaggregate
- **Ankertchnik**
- **Grabenverbautechnik**
- **Hochwasserschutz**

## ThyssenKrupp GfT Bautechnik GmbH

Postfach 10 22 53, D-45022 Essen  
Altendorfer Straße 120, D-45143 Essen  
Tel.: (02 01) 188-23 13, Fax: (02 01) 188-23 33  
bautechnik@thyssenkrupp.com, www.tkgftbautechnik.com

## Export

Tel.: +49 (2 01) 188-37 58, Fax: +49 (2 01) 188-39 74  
export-bautechnik@thyssenkrupp.com



## ThyssenKrupp GfT Bautechnik

Ein Unternehmen von ThyssenKrupp Services



ThyssenKrupp

Randpfeilern 4,80 m über dieser Endhöhe, sodass die Rückführung auf die Endhöhe durch eine in Längsrichtung doppelt geschwungene Linienführung erfolgte.

Ende Mai 2004 wurden die beiden Deckelemente über dem Tarn zusammengeführt und dort miteinander verschweißt. Abschließend wurden die restlichen fünf Pylone an den Widerlagern zusammengeschweißt, auf die Brücke gebracht, aufgerichtet und mit den Querträgern im Deck verschweißt sowie die Kabel angebracht. Danach konnten die Hilfsstützen entfernt werden.

Einige Impressionen der fertigen Brücke geben die abschließenden Bilder.



Bild 11 Die Brücke nach Fertigstellung



Bild 12 Die Brücke nach Fertigstellung

## 7. 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] Hubo, R.; Schröter, F.: Thermomechanisch gewalzte Stähle - Hochleistungsprodukte für einen effizienten Stahlbau, Bauingenieur 76, (2001), 459-463.
- [3] Hever, M.; Schröter, F.: Modern steel - High performance material for high performance bridges, 5<sup>th</sup> International Symposium on Steel Bridges, März 2003, Barcelona, 80-91.
- [4] Hanus, F.E.: Flammrichten thermomechanisch gewalzter Baustähle, Schweißen und Schneiden 46 (1994) Heft 4. S. 248-257.