

Carl Alexander Brücke zu Dorndorf/Saale

Ein technisch-historischer Abriss zum Stahltragwerk

Von Dipl.- Ing. Reiner Thoß, technischer Berater des Brückenvereines zu Dorndorf

Im ausgehenden 19. Jahrhundert nahm die Stahlerzeugung einen rasanten Aufschwung und eröffnete damit im konstruktiven Stahlbau bis dahin ungeahnte Möglichkeiten. Unsere Brücke wurde 1892 gerade zwischen so großen Bauwerken wie dem Eiffelturm (1889) und dem Leipziger Hauptbahnhof (1915) errichtet. Viele technische Details dieser beiden großen Konstruktionen finden sich hier wieder.

Die Brücke überspannt in 3 gleichen Fachwerkbögen zu je 41,6 m Spannweite die Saale (Bild 1a und 1b) und gibt damit auch hinreichend Raum für eventuelle Hochwasser. Ihre Errichtung im Jahre 1892 fällt gerade in einen Zeitraum gewaltiger technischer Entwicklungen der Stahlerzeugung und Walzwerktechnik; man kann an jedem Bauteil Geschichte anschaulich erleben.

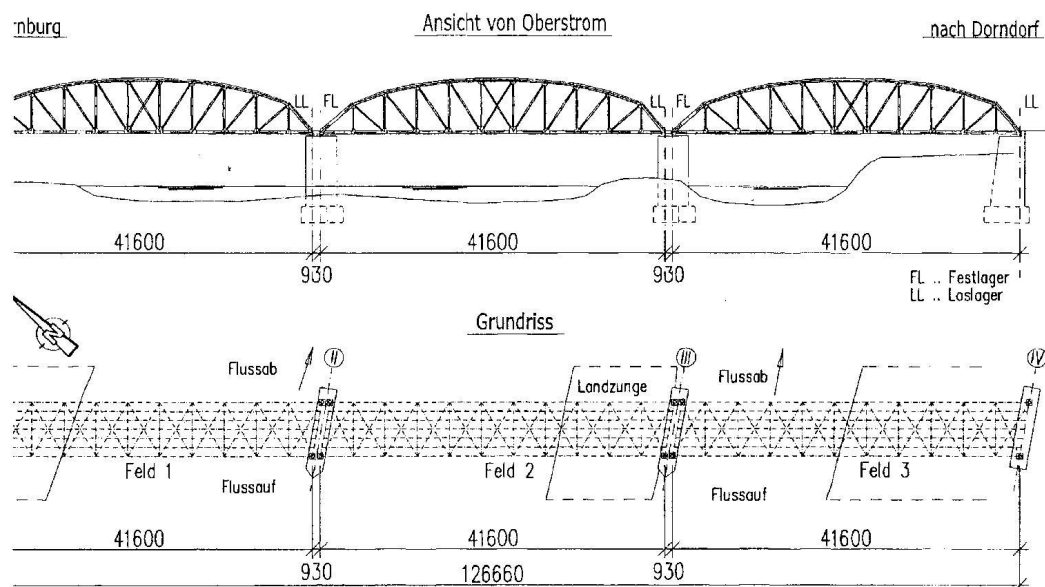


Bild 1

Auszug aus der Gesamtansicht



Bild 2a

Östlicher der 3 Brückenbögen und Sicht vom Osten auf die Brücke im Winter 2009



Bild 2b

Die Entwicklung des Stahlbaues mit den Mitteln der damals aktuellen Stähle wird an unserer Brücke deutlich sichtbar. Eine hervorragende konstruktive Ausbildung gepaart mit einer hohen handwerklichen Herstellungsqualität gaben und geben der Brücke die eigentlichen Überlebenschancen, wenn wir dies zu würdigen und zu erhalten wissen.

Mit der Entwicklung der Eisenbahntechnik brauchte man schon etwa ab 1830 größere Mengen an Walzeisen. Erst später entstanden Verfahren, die die mechanischen Werte dieses Werkstoffes, der dann Stahl genannt wurde, zu stabilisieren in der Lage waren.

Das waren z.B. das sogenannte Puddelverfahren oder auch andere verschiedene Frischverfahren, bei denen die richtigen Bestandteile erschmolzen wurden, mit dem Ziel gesicherte Qualitätsmerkmale, etwa die Grenze bei der der Stahl sich bleibend verformt (Fließgrenze), zu garantieren.

Trotzdem erschweren die an der Brücke anzutreffenden Stähle Reparaturen mit heutigen Mitteln des Stahlbaues erheblich. So darf keinesfalls geschweißt werden, nur Nietverbindungen oder ersatzweise Passschraubenverbindungen sind möglich.

Aber gerade die mechanischen Werte, wie eben die Fließgrenze oder die Bruchgrenze, waren und sind heute noch Grundlage einer gesicherten statischen Berechnung eines solchen Tragwerkes. Bilden sie doch die rechte Seite der Traggleichung (Literatur (2)):

Beanspruchung (Einwirkung) < Beanspruchbarkeit. (1a)

oder

$$S_d < R_d \quad (1b) \quad \text{oder umgestellt} \quad S_d/R_d \leq 1 \quad (1c)$$

Sind die Gleichungen 1a bis 1c hinreichend erfüllt, gilt das Bauwerk als standsicher. Mit Gleichung (1c) wäre auch ein stark vereinfachtes Bild der Tragsicherheit gegeben. Ganz allgemein würde dann statt der 1 eine Sicherheitszahl zwischen 1 und 1,5 stehen. Für unsere Brücke standen dort zweifellos höhere Zahlen, galt es doch damals ganz andere Risiken in Herstellung und Betrieb als heute abzudecken.

Berechnungsnormen legen heute hier klare Grenzen fest. Zum Zeitpunkt der Errichtung unserer Carl Alexander Brücke war dies noch weitgehend allein dem Ingenieur, der Konstruktion und Berechnung zu vertreten hatte, überlassen. Mag dies nur ein Beispiel hoher Verantwortung sein, die unsere Altvorderen zu tragen bereit waren.

Bleiben wir vorerst noch auf der rechten Seite dieser Gleichung, so sehen wir an unserer Brücke äußerst interessante, der damaligen Walzwerkstechnik angepasste Querschnitte. Zwar gab es schon U-förmige und I Profile, aber deren Herstellung war teuer und bei weitem noch nicht ausgereift, auch stand nur ein begrenztes Profilsortiment bereit. Einzig der Winkelstahl war wegen seiner leidlich gesicherten Herstellung gut verfügbar.

So mussten in dieser Zeit die Ingenieure zusammengesetzte Profilquerschnitte aus Blechen und Winkeln allein bilden, die wir heute längst durch moderne Walz- oder Schweißprofile ersetzen. An unserer Brücke sind ausschließlich Grundquerschnitte nach Bild 3a und 3 b zu sehen.

Die Verbindung erfolgte ausschließlich über Niete (angedeutet mit den dünnen Strichen im Bild 3a und 3b) . Nieten ist ein Verfahren, das mit enormer Aufwendung von Muskelkraft verbunden ist, auch wenn schon mechanisch betriebene Werkzeuge seinerzeit zur Verfügung gestanden haben könnten.



Bild 3 a
Genieteter I-Querschnitt
Aus 4 Winkeln und einem Steg

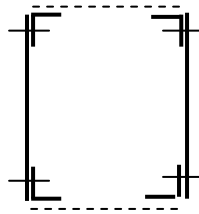


Bild 3 b
Genieteter Kastenträger aus 4 Winkeln,
2 Stegen und einem filigranen Fachwerk-
Verband (gestrichelt gezeichnet)



Bild 4
Fachwerkknoten unterer H-Verband mit Untergurt links und Fahrbahnträger rechts
Links Trägerform des Fachwerkuntergurtes wie Bild 3b

Man kann an der Brücke erahnen, wie die damaligen Vorwärmer, Nieter und Gegenhalter diese Verbindungen unter heute kaum mehr vertretbaren oder kaum zumutbaren Umständen geschaffen haben. Der Vorwärmer hatte die Niete im Schmiedefeuer, entnahm sie dem, wohlgermerkt in der richtigen Temperatur, und reichte sie meist per Wurf weiter. Der Nieter fing sie mit der Zange auf und schob sie in das per Dorn daneben gesicherte Nietloch, darauf wurde der Gegenkopf mittels Döpper bei gleichzeitiger Gegenhaltung geschlagen.

Mit den begrenzten Möglichkeiten der Querschnittswahl wird klar, warum wir unsere Betrachtungen an der rechten Seite der Traggleichung begonnen haben. Es galt eben erst einmal die damals möglichen Tragquerschnitte zu betrachten. Nunmehr können wir uns der linken Seite der Gleichung, den Beanspruchungen oder Einwirkungen oder Kräften und Kräftekombinationen widmen.

Erst die Entwicklung der graphischen Statik durch Culmann und Cremona (1864) (1) gaben dem praktisch tätigen Ingenieur eine einfache Methode zur Schnittkraftermittlung in Fachwerkträgern in die Hand. Voraussetzung für deren Anwendung war jedoch ein einfach strukturiertes, statisch bestimmtes Tragsystem.

Das können wir wieder an unserer Brücke ablesen, wie einfache ebene Tragsysteme, z.B. Fachwerke, hier die beiden Längsträger oder auch der obere und untere Horizontalverband und der Quer-Rahmen, hier für die Verbindung der beiden Längsträger, zum räumlichen System der Brücke verschmolzen werden.

Bauen wir nun die einzelnen Tragsysteme auf und beginnen mit dem Querträger (Bild 5), der die Fahrbahn trägt:

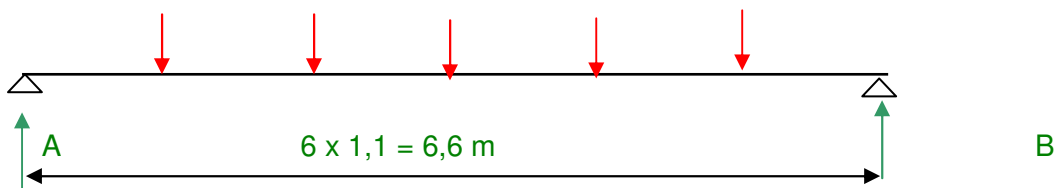


Bild 5

Belastung der Querträger aus Fahrbahn

Rot = Aktionskräfte

Grün = Reaktio bzw. Auflagerkräfte

Es folgt der Querrahmen (Bild 6) dessen senkrechte Stiele (Pfeiler) zugleich die V-Stäbe (Vertikalstäbe) der Fachwerk-Längsträger bilden



Bild 6

Querrahmen, statisches System

rot Kräfte A und B als actio (Aktionskräfte am Rahmen)

Schließlich folgen die beiden Fachwerk-Längsträger (Bild 7), die ihre Auflagerkräfte endlich auf die Rollenlager der Fundamente abgeben.

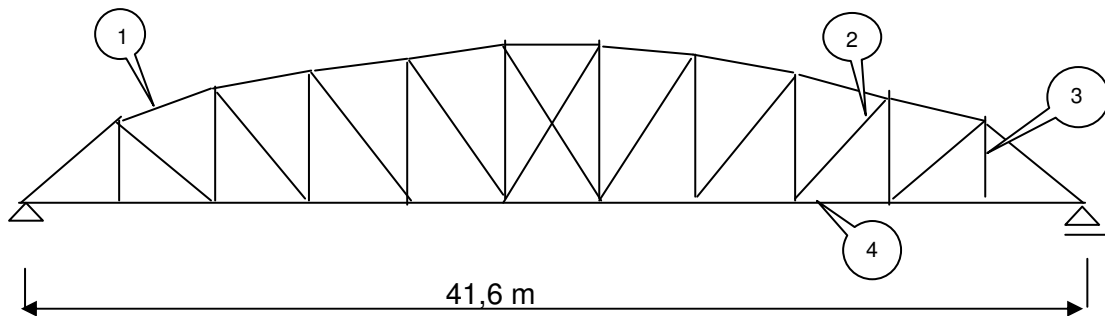


Bild 7 a Vorderansicht

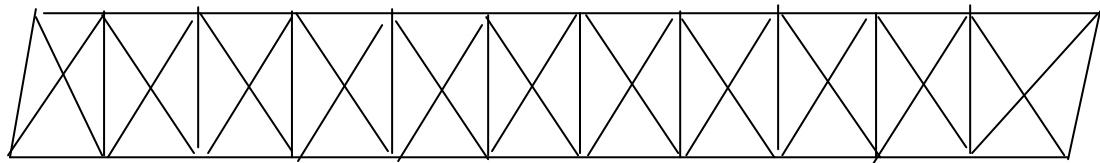


Bild 7 b Ansicht von unten, unterer Horizontalverband

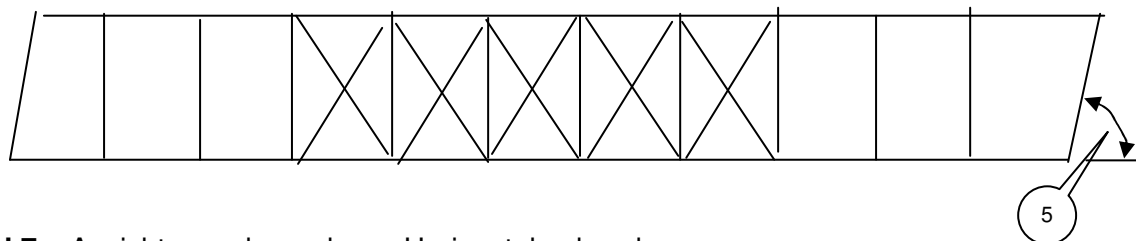


Bild 7 c Ansicht von oben, oberer Horizontalverband

Legenden zu Bild 7

Fachwerk-Längsträger, statisches System sowie Horizontalverbände

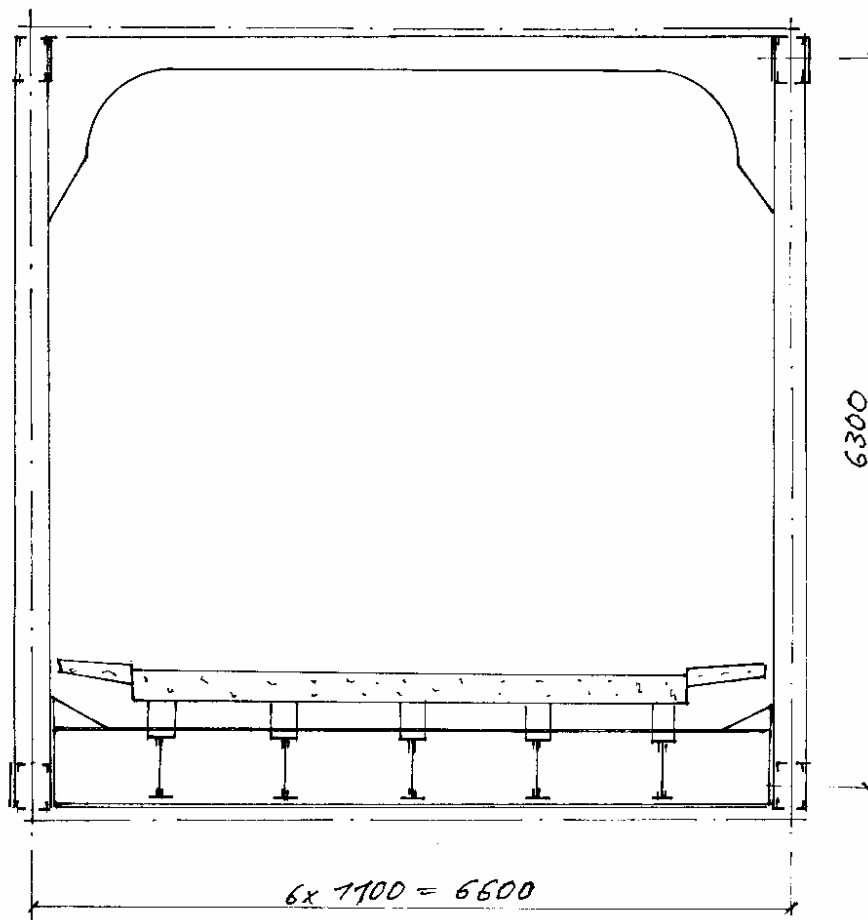
Legenden:

1 Obergurt ; 2 Diagonalstab; 3 Vertikalstab oder Pfosten; 4 Untergurt

5 Die Strompfeiler sind nicht 90 Grad sondern um 79,2 Grad oder 88 gon , ein Winkelmaß aus der Vermessungstechnik, zur Brückenachse geneigt,

Genial auch die Diagonalstabführung, die ganz dem Querkraftverlauf aus der Fahrbahnbelastung angepasst wurde, die Diagonalen haben damit alle die gleichem Vorzeichen der Kraft. Nur im mittleren Feld können Zug- und Druckkräfte der Diagonalen je nach Laststellung auf der Brücke wechseln, daher in der Mitte der gekreuzte Diagonalzug.

Zu den Tragelementen oder auch tragenden Scheiben, wie die Statiker sie zuweilen nennen, zählen auch die Verbände aus gekreuzten Diagonalen im Obergurt und im Untergurt. Sie dienen der Stabilisierung der Brücke und zur Aufnahme der Windkräfte. Des weiteren haben sie Kräfte quer zur Fahrtrichtung aufzunehmen, daher werden sie auch Schlingerverbände genannt.

**Bild 8**

Querschnitt durch die Brücke; die Strich - Punktlinien stellen jeweils Mittellinien von Fachwerkscheiben dar.

Fassen wir nunmehr den Kräfteverlauf von der Verkehrslast auf der Fahrbahn bis in die Rollenaufleger an den Fundamenten in dieser Reihenfolge zusammen:

- der Trägerrost, bestehend aus Längs- (Bild 5) und Querträgern, der die Fahrbahn mit den Verkehrs- und Eigenlasten aufnimmt
- die Querrahmen (Bild 6 und 8), die die Längsträger verbinden und die Auflager der Fahrbahn­längsträger aufnehmen,
- 2 Längsträger als Fachwerkträger (Bild 7), die schließlich die Lasten auf die Rollenlager der Fundamentstützen abtragen.

Die Querträger (Bild 5) von A nach B bestehen aus einem 700 mm hohem Profil nach Bild 3a. Die Auflagerkräfte A und B der Querträger setzen sich einmal in den Querrahmen (Bild 6) ab und von dort werden sie direkt in die Knotenpunkte des Fachwerk-Untergurtes eingeleitet.

Die Querrahmen (Bild 1b und Bild 6 und 8) leiten die Kräfte aus der Fahrbahn weiter in die Vertikalstäbe oder Pfosten der Fachwerk-Längsträger. Pfosten und oberer Querträger bestehen aus zusammen genieteten Querschnitten nach Bild 3b. Der Rahmen hat steife Ecken, er muss schließlich auch u.a. die Windkräfte bzw. die Auflagerkräfte der Horizontalverbände aufnehmen und trägt entscheidend zur Stabilisierung der Brücke bei.

Schließlich müssen die beiden Fachwerk-Längsträger mit einer Spannweite (das ist der Abstand der Auflager) von je 41,6 m alle Kräfte aufnehmen und auf die Rollenaufleger (Bild 9) übertragen. Die Rollenaufleger stellen die Grundlage der statisch bestimmten Lagerung des Fachwerk-Längsträgers dar, gleichen Längendehnungen aus und leiten alle Kräfte gut kontrolliert in die gemauerten Fundamentstützen ab.

Mit den statisch bestimmten Einzel-Systemen bzw. der Vereinfachung zu solchen ist es möglich einfache Berechnungsmethoden anzuwenden. Auch konnten offensichtlich mit elastischen Berechnungsansätzen, Kräfte bedenkenlos linear überlagert werden, Man baute eben was man rechnen konnte, ein Grundsatz der heute im Zeitalter komplizierter EDV-Statikprogramme oftmals vergessen zu sein scheint.



Bild 9

Rollenaufleger

Am Bruch der Rollenführungsleiste ist bereits ein konstruktives Versagen der Auflager feststellbar

Die einzelnen Kräfte der Fachwerkträger wurden einst zweifellos mittels Cremonaplan (1872 nach dem ital. Mathematiker Cremona 1789-1857) graphisch ermittelt. Dabei werden die verschiedenen wirkenden Einflüsse, wie Eigengewicht der Konstruktion, Verkehrslast, d.h. Lasten auf der Brücke in unterschiedlichen Stellungen sowie die Wirkung von Wind und Schnee/Eis untersucht und schließlich in maßgeblichen Varianten für das jeweilige Bauteil linear überlagert. Danach wird nachgewiesen, ob das Bauteil hält, also „standsicher“ ist.

Interessant ist auch ein Diskurs zu Stabilitätsproblemen an dieser Brücke, waren doch nicht alle Systeme so einfach reduzierbar. Betrachtet man beispielsweise die 3 letzten Querrahmen vor den Rollen-Auflagern, so stellt man fest, dass die Obergurte der Fachwerk-Längsträger nicht mehr durch Horizontalstreben gesichert sind. Die theoretischen Grundlagen dafür entstanden aber gerade erst um die Bauzeit der Brücke.

Auf der Grundlage des elastischen Knickens nach Euler (1707-1783) (1) wurde erst 1895 von Friedrich Engesser (1848-1931) die Grundlage zu nichtlinearen Berechnungsansätzen geschaffen. Inwieweit der Entwurfsingenieur damals hierzu gesicherte Anwendungskriterien in der Hand hatte, ist unklar. An der Brücke kann man aber hinreichende Steifigkeit der

seitlich nicht gehaltenen Obergurtnoten feststellen. Viel später erst wird in der guten alten DIN 4114 (3) das Problem anwendungsreif gelöst.



Bild 10

Der ehemalige Kaisersteg in Berlin
1945 unwiederbringlich zerstört

Quelle: www.Berlin.de

So sind noch viele weitere baugeschichtliche Merkmale an der Brücke in Dorndorf zu erkennen, ein Grund mehr dieses einmalige technische Denkmal für unsere Nachwelt zu erhalten. Viele solcher Brücken wurden ersatzlos abgebaut oder in Kriegswirren sinnlos zerstört, so auch ein Teil unserer Brücke und der etwa zu gleicher Zeit gebaute Kaisersteg in Berlin (Bild 10).

Die Korrosionsschäden am Tragwerk der Carl Alexander Brücke mahnen zur Eile, noch scheint die Tragfähigkeit der Brücke zumindest für die Nutzung als Fußgängerbrücke nicht in Frage gestellt zu sein. Die Rettung der Brücke wird aber immer teurer und absehbar gänzlich unmöglich.

Literatur:

- (1) Karl-Eugen Kurrer: „Geschichte der Baustatik“ Verlag Ernst & Sohn;
ISBN 3-433-01641-0
- (2) Ulrich Krüger; „Stahlbau“ Verlag Ernst & Sohn
ISBN 3-433-01639-9
- (3) DIN 4114 Stahlbau, Stabilitätsfälle (Knickung, Kippung, Beulung) 1952 und frühere Ausgaben