

Brücken mit vorgespannter Stahlunterspannung

Herrn Prof. Dr. Manfred A. Hirt zur Vollendung seines 60. Lebensjahres gewidmet

Bereits Anfang des 19. Jahrhunderts wurde das Tragsystem des unterspannten Trägers für Brückenkonstruktionen eingesetzt. Dank der technologischen Entwicklung der Vorspannung und aufgrund seiner hohen statischen Effizienz hat dieses Tragkonzept in den letzten Jahren wieder an Bedeutung gewonnen. Eine vielversprechende Anwendung erhält man durch Kombination der einfachen Stahlunterspannung mit der Vorspanntechnik.

Bridges suspended by prestressed steel tubes. *The structural system of suspended girders was used for bridge structures as early as the beginning of the 19th century. Because of technological advancements in the field of prestressing and due to the high structural efficiency, this structural concept has regained significance in recent years. A promising application consists of the combination of a simple suspended steel structure with prestressing technology.*

1 Historischer Rückblick

Bereits sehr früh wurde erkannt, daß sich die Spannweite von einfachen Balkenträgern durch eine Unterspannung vergrößern läßt. Die systematische Entwicklung der unterspannten Träger begann aber erst mit dem Aufbruch in das Industriezeitalter. Das Konzept des einfachen unterspannten Trägers wurde erstmals 1819 von Baumeister *Friedrich Arnold* in seinem Buch „Die Lehre der Holzkonstruktion mit besonderer Rücksicht auf den Brückenbau“ vorgestellt (Bild 1a, Beschreibung in [1]).

Praktisch zur gleichen Zeit wurde das System der aufgeständerten Hängebrücke entwickelt. Die tragenden Ketten oder Seile sind hierbei unterhalb der Fahrbahn angeordnet. Diese Weiterentwicklung der klassischen Hängebrücke ermöglicht den Verzicht auf die konstruktiv aufwendigen Hauptpfeiler. Wie Bild 1b zeigt, ist das Zugband am Widerlager direkt im Boden verankert, so daß die darauf aufgeständerte Fahrbahn im Gegensatz zum klassischen unterspannten Träger keine Druckbeanspruchung erfährt. Die Fahrbahn selbst trägt auch nicht zur primären Lastabtragung in Längsrichtung bei. Die ersten bekannten Entwürfe dieses Brückentyps sind die von *Robert Stevenson* 1821 projektierte Cramond Bridge über den Almond River und die im Jahr 1824 vom Schweizer Ingenieur *Guillaume-Henry Dufour* entworfene Pont de la Caille in der Nähe von Genf (Spannweite 150 m) [2]. Erst 1834 kam *Dufours* erste aufgeständerte Hängebrücke zur Ausführung. Die im Bild 2 dargestellte Pont des Bergues über die Rhône in Genf bestand aus zehn Ketten, auf die eine Fahrbahnkonstruktion aus Holz aufgeständert wurde. Als vertikale Verbindungselemente wurden eiserne Pendelstäbe benutzt.

Hinsichtlich der Aufnahme von Eigenlasten sind die aufgeständerten Hängebrücken außerordentlich effiziente Tragsysteme. Ähnlich wie bei den gewöhnlichen Hängebrücken ergeben sich jedoch bei Einwirkung von großen veränderlichen Nutzlasten durch die zu große Verform-

barkeit des Systems Probleme. Als Lösung wählt man meist einen Fahrbahnträger mit genügend großer Biegesteifigkeit. Dies reduziert insbesondere bei leichten Brücken mit kleinen Spannweiten die statische Effizienz. Es wurde folglich nach optimierteren Lösungen gesucht. Durch Superposition mehrerer einfacher unterspannter Träger entstand der sogenannte Fink-Träger (Bild 1c). Andere Entwicklungen orientierten sich in Richtung der Fachwerke, woraus sich der Fischbauchträger (Bild 1d) ergab. Die wohl berühmtesten Beispiele dieses Tragsystems sind die 1857 von *Pauli, Gerber* und *Werder* ge-

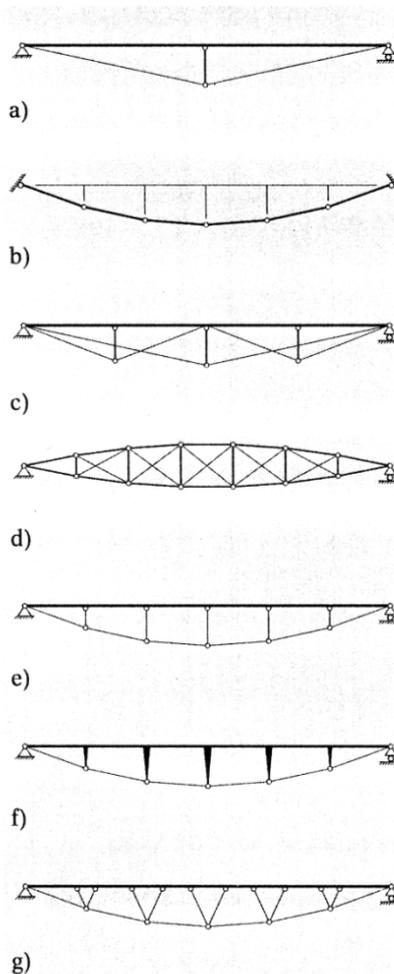


Bild 1. Mögliche Einfeldträger für unterspannte Brücken; a) einfaches unterspanntes System, b) im Boden verankerte unterspannte Hängebrücke, c) Fink-Träger, d) fachwerkartiger Fischbauchträger, e) unterspannter Träger mit gelenkig angeschlossenen Streben, f) unterspannter Träger mit eingespannten Streben, g) unterspannter Träger mit V-Streben
Fig. 1. Possible single span girder of suspended bridges; a) simple suspended system, b) in ground stayed suspended bridges, c) Fink-girder, d) trussed fish-bellied girder, e) suspended girder with hinged braces, f) suspended girder with rigidly fixed braces, g) suspended girder with V-braces

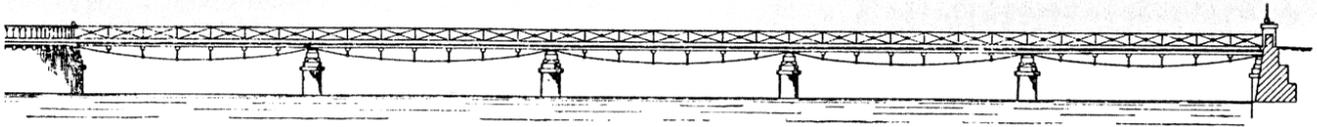


Bild 2. Pont des Bergues über die Rhône in Genf, G.-H. Dufour, 1824
Fig. 2. Pont des Bergues over the Rhone in Geneva

baute Isarbrücke bei Großhesselohe und die im Jahr 1859 eröffnete Royal Albert Bridge von I. K. Brunel. Von allen Tragsystemen, bei denen die Druckkräfte von einem Stahldruckgurt aufgenommen werden, zeigen die Fachwerke gegenüber dem unterspannten Träger eine höhere Effizienz. Aus diesem Grund konnten sich unterspannte Träger in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts nicht mehr gegen die aufkommenden Stahlfachwerke durchsetzen und wurden verdrängt.

Unterspannungen wurden aber weiterhin als Versteifungselemente von Lehrgerüsten oder als Verstärkungen von Balkenbrücken eingesetzt. Interessante Beispiele hierfür sind die eisernen Fachwerkbrücken der Gotthardbahn über die Schweizer Alpen. Diese wurden in den 1920er Jahren nachträglich unterspannt. Die damals vierzigjährigen Brücken konnten somit verstärkt werden und für weitere 50 Jahre einem beträchtlich schwereren Eisenbahnverkehr gute Dienste leisten.

Ein weiterer sehr interessanter Anwendungsbereich des unterspannten Trägers ist der Massivbau. 1934 ließ sich Franz Dischinger den Spannbetonbauweise ohne Verbund patentieren. Aus Bild 3 ist klar ersichtlich, daß es sich bei dem von ihm patentierten System praktisch um einen Stahlbetonträger mit einer vorgespannten Stahlunterspannung handelt. Dischinger selbst beschreibt diese, für die Zukunft des Massivbaus maßgebende Erfindung, mit folgenden Worten: „Bei der Erfindung sollen die als Hängewerk ausgebildeten Zuganker gegen den erhärteten Beton vorgespannt werden und eine Anpassung der Vorspannkraft an die Biegemomente aus Eigengewicht erreicht werden, so daß bei Eigengewichtbelastung der Träger annähernd frei von Biegemomenten ist, wodurch auch die Querkraft und damit die Schubspannungen aus Eigengewicht ganz oder zum größten Teil wegfallen“ [3]. Mit diesem Tragsystem baute Dischinger die dreifeldrige Balkenbrücke in Aue (Sachsen) mit 69 m Spannweite in der Mittelöffnung. Als Spannglieder verwendete er Stahlstangen mit einem Durchmesser von 70 mm, die er mit einer relativ kleinen Vordehnung vorgespannt hat. Die Schwind- und Kriechverformungen verursachten sehr große Spannkraftverluste, welche zu

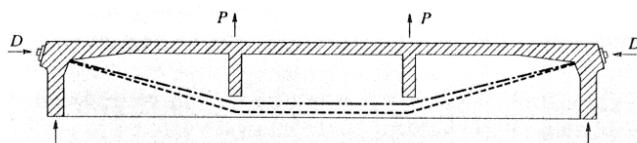


Bild 3. Vorspannung ohne Verbund aus dem Patent von F. Dischinger, 1934
Fig. 3. Prestressing without bond according to the patent of F. Dischinger, 1934

breiten Rissen im Träger und großen Durchbiegungen führten. Um diese Probleme zu vermeiden, wurden in Folge für die Vorspannung hochwertige Stähle mit einer Vordehnung von 4 bis 6 mm/m eingesetzt. Diese Lösung wurde bereits 1928 vom französischen Ingenieur E. Freyssinet vorgeschlagen und patentiert. Die Spannkraftverluste infolge Schwinden und Kriechen konnten hierdurch in akzeptablen Grenzen gehalten werden.

In den 1950er und 1960er Jahren wurde vor allem Freyssinets Konzept der Vorspannung im Verbund eingesetzt. Erst in den 1970er Jahren kam die Technologie der externe Vorspannung vermehrt zur Anwendung. Diese Entwicklung ermöglichte auch interessante Lösungen für Brücken aus vorfabrizierten Segmenten [5] und führte zu Brückenträgern mit sehr dünnwandigen oder fachwerkartigen Stegen [6].

Von der technologischen Weiterentwicklung der Spannglieder für den Einsatz als externe Vorspannung sowie für die Kabel der Schrägseilbrücken profitierte auch das Konzept der unterspannten Träger. In den letzten zwei Jahrzehnten wurden wieder vermehrt unterspannte Brücken gebaut. Bekannte Beispiele sind die beiden unterspannten Stahlkonstruktionen Neckartalbrücke Weitingen [7] und die Brücke über die Obere Argen [8], sowie die Osormort-Brücke bei Barcelona mit einem Überbau aus Spannbeton [9]. Bei Massivbaulösungen kann die Unterspannung als Weiterentwicklung der externen Vorspannung interpretiert werden. Die Spannkabel verlassen den Betonquerschnitt und werden tatsächlich extern geführt. Hierdurch ergibt sich eine größere statische Höhe bei einem gleichzeitig schlanken und geometrisch einfacheren Querschnitt [10].

2 Statische Effizienz der unterspannten Träger

Die Effizienz eines Brückensystems ist unter Berücksichtigung des Standortes, der Art und Intensität der Einwirkungen, der zur Verfügung stehende Materialien, der technologischen Möglichkeiten, der Montageeinrichtungen und verschiedenen weiteren Aspekten zu betrachten. Auch zur Bewertung der erzielten Effizienz können verschiedene Merkmale wie Steifigkeit, Tragfähigkeit, Wirtschaftlichkeit, Herstellungsgeschwindigkeit usw. herangezogen werden. Vereinfachend wird im folgendem nur der Materialverbrauch für einen Einfeldträger betrachtet. Bild 4 zeigt als Funktion der Trägerschlankheit die für die Aufnahme einer Einzellast in Trägermitte erforderliche Materialmenge. Hierbei wird als Materialverbrauch folgende dimensionslose Größe definiert:

$$\frac{V \cdot f_d}{Q_d \cdot \ell}$$

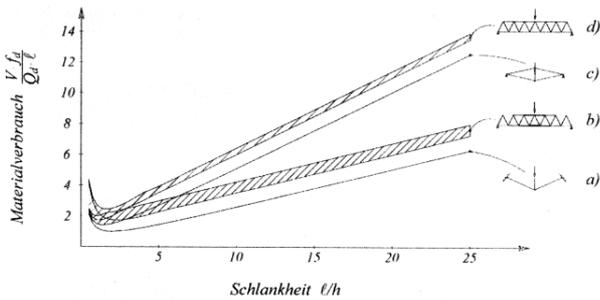


Bild 4. Materialverbrauch als Funktion der Schlankheit l/h für verschiedene statische Systeme: Seilkonstruktion (Kurve a), Fachwerk mit konstanter Trägerhöhe und optimierten Querschnittsabmessungen (Bereich b), unterspannter Träger (Kurve c), Fachwerk mit konstanten Gurtquerschnitten (Bereich d)

Fig. 4. Material requirement as function of slenderness l/h : cable construction (curve a), trussed framework with constant girder height and optimized cross section (range b), suspended girder (curve c), trussed framework with constant flange sectional area (range d)

- V für die Aufnahme der Beanspruchung erforderliches Materialvolumen zur Erfüllung des Tragfähigkeitsnachweises
- f_d für die Bemessung berücksichtigte Materialfestigkeit
- Q_d Bemessungslast
- l Spannweite

Weitere Einflußfaktoren wie Stabilitätsprobleme, Mindestabmessungen, Verbindungen und andere konstruktiv erforderliche Anforderungen wurden hierbei nicht berücksichtigt.

Die Seilkonstruktionen zeigen die größte Effizienz (Kurve a). Einen etwas größeren Materialverbrauch weisen die Fachwerke mit konstanter Trägerhöhe und optimierten Querschnittsabmessungen auf (Bereich b). Der unterspannte Träger (Kurve c) hat im Bereich durchschnittlicher Schlankheiten gegenüber den Seilkonstruktionen einen fast doppelt so großen Materialbedarf. Dieser Unterschied wäre noch größer, wenn bei der Bemessung des Druckgliedes Stabilitätsprobleme berücksichtigt würden. Eine noch geringere Effizienz ist bei den Fachwerken mit konstanten Gurtquerschnitten festzustellen (Bereich d). Die Effizienz der optimierten Fachwerke erklärt zum Teil den Erfolg dieses Systems im 19. Jahrhundert.

Im modernen Brückenbau besteht die Fahrbahnplatte von Brücken mit kleinen und mittleren Spannweiten üblicherweise aus Stahlbeton. Diese Stahlbetonplatte ist in der Lage, relativ große Druckkräfte aufzunehmen. Hinsichtlich des Tragverhaltens und der Dauerhaftigkeit hat eine Druckkraft für die Fahrbahnplatte sogar eine positive Wirkung (vgl. Vorspannung). Aus diesem Grund kann ein Brückensystem, das aus einer massiven Fahrbahnplatte und einer Unterspannung besteht, als statisch effizient betrachtet werden.

3 Anzahl und Art der Verbindungselemente

Der unterspannte Träger besteht aus der druckbeanspruchten Fahrbahnplatte, der Unterspannung und den Verbindungselementen, welche die Umlenkkräfte auf-

nehmen und in die Fahrbahnplatte einleiten. Als einfachste Lösung werden diese Verbindungselemente als beidseitig gelenkig angeschlossene Druckstreben ausgebildet (Bilder 1a und 1e).

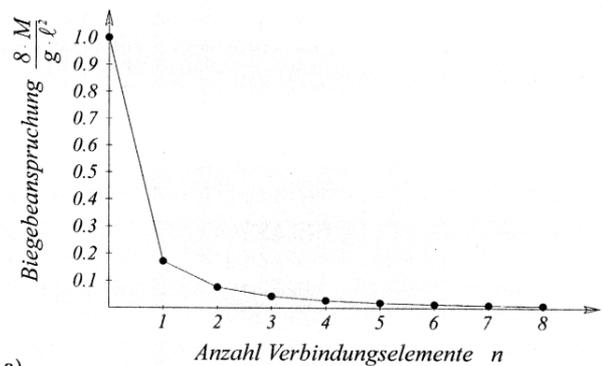
Die Anzahl der Verbindungselemente hat einen großen Einfluß auf die Beanspruchungen der Fahrbahnplatte und gleichzeitig auch auf die konstruktive Komplexität des Tragwerks. Hinsichtlich Eigenlasten bewirken zusätzliche Verbindungselemente eine Verringerung der effektiven Spannweite des Trägers, so daß die Biegebeanspruchung der Fahrbahnplatte progressiv abnimmt. Wird der Fahrbahnträger plastisch bemessen, ist die Biegebeanspruchung proportional zu

$$\frac{1}{(n + 1)^2}$$

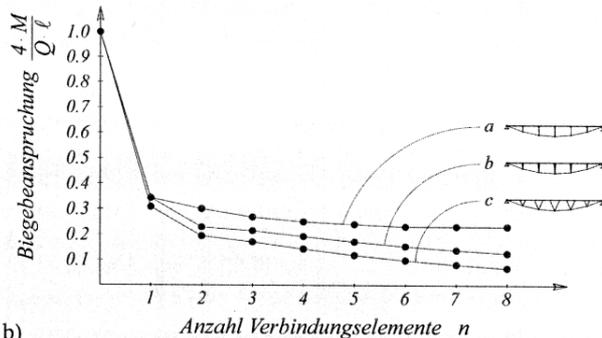
n Anzahl der Verbindungselemente

Diese einfache Funktion ist in Bild 5a graphisch dargestellt.

Bei veränderlichen Nutzlasten, und vor allem bei Einzellasten, ist die belastungsreduzierende Wirkung von zusätzlichen Verbindungselementen weniger ausgeprägt (Bild 5b, Kurve a). Zur Erklärung dieses Phänomens ist



a)



b)

Bild 5. Biegebeanspruchung des Fahrbahnträgers bei plastischer Bemessung als Funktion der Anzahl Verbindungselemente ($n = 0$ entspricht dem Träger ohne Unterspannung); a) infolge konstant verteilten Eigengewichtes g , b) infolge konzentrierter Nutzlast Q (Kurve c mit $l/f = 15$, Neigung der Verbindungselemente 60°)

Fig. 5. Bending stress of deck girder according to plastic design as function of the number of connecting elements ($n = 0$ represents the girder without suspension); a) uniformly distributed dead load, b) concentrated service load Q (curve c with $l/f = 15$, inclination of connecting elements 60°)

die Betrachtung der Seilpolygonlinie hilfreich. Die Seilpolygonlinie repräsentiert die Wirkung einer Belastung innerhalb des Trägers (vgl. Stützlinie bei Bogentragwerken). Sie ist affin zur Momentenlinie des Gesamtträgers. Das Biegemoment in der Fahrbahnplatte ergibt sich als Produkt aus dem Abstand zwischen Seilpolygonlinie und Unterspannung und der Normalkraft im Unterzug (Bild 6a).

Da bei asymmetrischen Lasten die Seilpolygonlinie der Belastung zum Teil stark von der Lage der Unterspannung abweichen kann, können die Biegebeanspruchungen für die Fahrbahnplatte teilweise relativ groß werden. Eine plastische Bemessung kann sehr einfach durchgeführt werden, indem die Pfeilhöhe der Seilpolygonlinie so gewählt wird, daß jeweils die positive und die negative Abweichung von der Lage der Unterspannung gleich groß sind. Es ist klar ersichtlich, daß ab einer gewissen Anzahl von Verbindungselementen durch Hinzufügen weiterer Streben eine nur mehr sehr geringe Verbesserung erzielt wird.

Eine Verringerung der Biegebeanspruchung erhält man hingegen, wenn man biegesteife Streben als Verbindungselemente verwendet (Bild 1f). Da die Normalkraft im Fahrbahnträger nicht mehr konstant ist, stellen sich mehrere Seilpolygonlinien ein. Durch eine plastische Bemessung kann für jeden Abschnitt der Seilpolygonlinie eine minimale Abweichung von der Lage der Unterspannung erreicht werden (Bild 6b). Die so erzielte Verbesserung ist im Bild 5b, Kurve b dargestellt.

Die in der Fahrbahnplatte eingespannten Verbindungselemente müssen hierbei relativ große Biegebeanspruchungen aufnehmen. Sinnvoller ist es, diese Streben V-förmig auszubilden (Bild 1g). Wie in Bild 6c dargestellt, wird hierdurch die Abweichung der Seilpolygonlinie von der Lage der Unterspannung weiter reduziert,

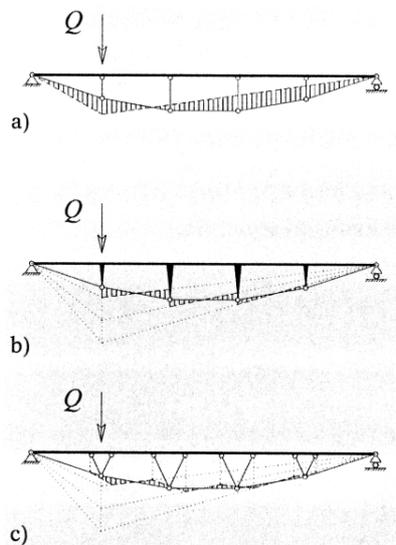


Bild 6. Seilpolygone als Darstellung der Biegebeanspruchung ($n = 4$); a) System mit gelenkig angeschlossenen Streben, b) System mit eingespannten Streben, c) System mit V-Streben
Fig. 6. Funicular polygon as representation of bending stress ($n = 4$); a) system with hinged braces, b) system with rigidly fixed braces, c) system with V-braces

wodurch folglich die Biegebeanspruchung im Fahrbahnträger verringert wird [11], [12]. Bei einem System mit vier V-Streben ist die Biegebeanspruchung infolge einer veränderlichen Einzellast bereits auf etwa die Hälfte reduziert (Bild 5b, Kurve c).

Diese Überlegungen zeigen, daß von Brücken mit einem steifen Fahrbahnträger und nur einer einfachen Druckstrebe in der Mitte bis hin zu den Brücken mit einem schlanken Oberbau und mehreren V-Streben eine große Palette von Tragsystemen möglich ist.

Die schon erwähnte Neckartalbrücke Weitingen, die Brücke über die Obere Argen und der Osormort-Viadukt sind der Gruppe mit einfachen Druckstreben zuzuordnen. Im Abschn. 5 werden zwei Brückenprojekte mit V-Streben vorgestellt.

4 Konstruktive Ausbildung der Unterspannung

Als konstruktive Ausführung der Unterspannung gibt es zwei verschiedene Lösungen. Dies ist einerseits die klassische Variante der Unterspannung mit Stahlbauprofilen und andererseits die Unterspannung mit Spannkabeln aus hochfestem Stahl.

Bei der ersten, eher von der Stahlbaupraxis beeinflussten Lösung, wird die Unterspannung aus gewöhnlichen Stahlbauprofilen hergestellt. Vorteile dieser Lösung sind die Möglichkeit der Verwendung der Stahlkonstruktion als Lehrgerüst für die Fahrbahnplatte (vgl. Verbundbau), die einfache Ausbildung der Umlenkstellen, die höhere Robustheit und vor allem die höhere Steifigkeit.

Die Variante der Unterspannung mit Kabeln kann als eine Weiterentwicklung der externen Vorspannung interpretiert werden. Hier kommen Stangen, Draht- oder Litzenbündel und Spiralseile zum Einsatz. Als Vorteile dieser Technik können folgende Punkte aufgeführt werden: einfaches Aufbringen einer Vordehnung, Möglichkeit der Nachregulierung nach dem Betonieren der Fahrbahnplatte, leichter Transport zur Baustelle, keine Schweißarbeiten in-situ, einfache Verankerung der Kabel im Auflagerbereich und die Möglichkeit, den unterspannten Träger in ein durchlaufendes oder rahmenartiges Tragsystem zu integrieren.

Im folgenden Abschnitt werden zwei Projekte vorgestellt, bei denen durch die Kombination der beiden Prinzipien praktisch sämtliche Vorteile der vorgespannten und der Stahlbaulösung vereint werden konnten.

5 Zwei Beispiele für Brücken mit vorgespannter Stahlunterspannung

5.1 Einführung

Die beiden Projekte, die Brücke über den Fluß Capriasca in Odogno und die Brücke über den Tessin bei Villa Bedretto sind zwei interessante Anwendungen der vorgespannten Stahlunterspannung mit V-Streben [11]. Beide Brücken sind als Resultat von Alternativvorschlägen zwischen 1995 und 1997 ausgeführt worden. Mit den Alternativvorschlägen konnten im Vergleich zu den offiziell ausgeschriebenen Varianten jeweils niedrigere Angebotspreise erzielt werden. Im Fall der Capriascabrücke galt es, eine Bogenbrücke aus den 1950er Jahren wiederherzustellen. Als offizieller Entwurf für die Brücke über den Tessin war der Neubau einer zweistufigen Verbundbrücke vorgesehen.

Die unterspannten Träger der beiden Brücken sind in ein rahmenartiges System integriert. Als besonderes konstruktives Merkmal ist die Führung des Spannkabels interessant. Im Randbereich befindet sich die Vorspannung klassisch im Massivbauquerschnitt. Sie verläßt diesen aber im Bereich der Unterspannung, um im Stahlzuggurt weitergeführt zu werden.

Die Unterspannung selbst besteht aus einem Breitflanschträger HEA, an dessen Flansche gebogene Stahlbleche angeschweißt sind. Es ergibt sich ein hohler Kastenquerschnitt. Innerhalb des Querschnittes werden zwei Spannglieder (System VSL) mit jeweils 12 Ø 0,6“ geführt (Bild 7). Der Querschnitt ist mit Zementmörtel injiziert, um einen Verbundquerschnitt herzustellen und einen guten Schutz der Spannglieder zu gewährleisten. Zur Verbesserung des Verbundes zwischen Injektionsmörtel und Hohlkasten wurden für die angeschweißten L-Profile Riffelbleche mit innenliegendem Relief verwendet.

Gegenüber konventionellen Unterspannungen mit Spanngliedern hat das hier dargestellte System folgende Vorteile:

- Die Zugglieder sind doppelt geschützt (Stahlhohlkasten und Injektionsmörtel), wodurch die Dauerhaftigkeit erhöht und der Schutz gegen Anprall oder Vandalismus verbessert wird.
- Der Zuggurt wird steifer.
- Das Stahlzugband und die Umlenkungen können als vorgefertigter Träger hergestellt werden. Hierfür schließt man die Konstruktion am Obergurt mit einem Stahlprofil. Dieser Träger kann als selbsttragendes Gerüst für die Schalung eingesetzt werden, wobei das obere Stahlprofil mit in die Fahrbahnplatte einbetoniert wird.

5.2 Die Brücke über den Capriasca in Odogno (Schweiz)

In der Nähe des Dorfes Odogno überquert die Kantonsstraße Tesserete – Gola di Lago den Fluß Capriasca. Als Tragsystem der Brücke wurde ein Rahmentragwerk mit zwei seitlichen Randfeldern gewählt (Bild 8). Die Gesamtlänge der Brücke beträgt 80 m mit einer Mittelöffnung von 38 m. Die Fahrbahnplatte inklusiv seitlicher Konsolen hat

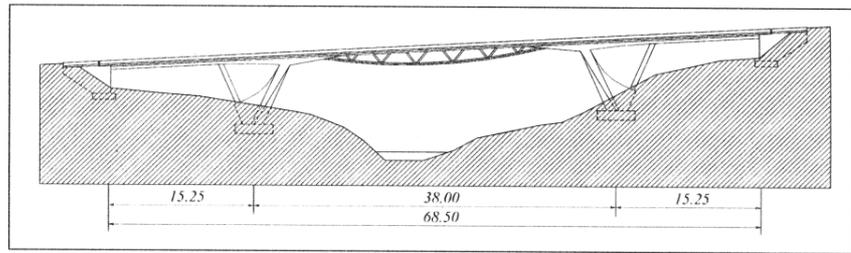


Bild 8. Brücke über den Capriasca in Odogno
Fig. 8. Bridge over the Capriasca in Odogno

eine Breite von 7 m und ist mit zwei 50 cm hohen Längsrippen verstärkt. Es ergibt sich somit eine Fahrbahnträgerschlankheit von 76. Die Vorspannung besteht aus über die ganze Länge der Brücke durchgehenden Spannkabeln, welche an den beiden Enden der Brücke verankert sind. Im Hauptfeld verlassen die Spannkabel den Betonquerschnitt und werden im Zuggurt geführt.

Bauablauf:

- Erstellen der Gründung, der geeigneten Stützen und der Randfelder
- Einheben der linsenförmigen Träger
- Einschließen der Vorspannkabel, im Bereich des Zuggliedes wird der Einbau durch innenliegende Hüllrohre vereinfacht
- Injizieren des Stahlkastens mit Zementmörtel (ohne Hüllrohre)
- Teil-Vorspannen der Unterzüge
- Herstellen der Schalung, abgestützt auf die Stahlträger
- Betonieren der Fahrbahnplatte
- endgültiges Spannen der Unterzüge
- Injizieren der Hüllrohre (Vorspannung im Verbund)
- Einbau Dichtung, Asphaltieren und Feinarbeiten.

5.3 Die Brücke über den Tessin in Villa Bedretto (Schweiz)

Die Brücke, in der Nähe des Dorfes Villa Bedretto gelegen, überquert den Fluß Tessin einige Kilometer unterhalb seiner Quelle im Gotthardmassiv (Bild 9). Sie ersetzt eine Stahlbetonbrücke, welche in den 1930er Jahren mit einer sehr schmalen Fahrbahn und einer heute unzulänglichen Tragfähigkeit gebaut wurde.

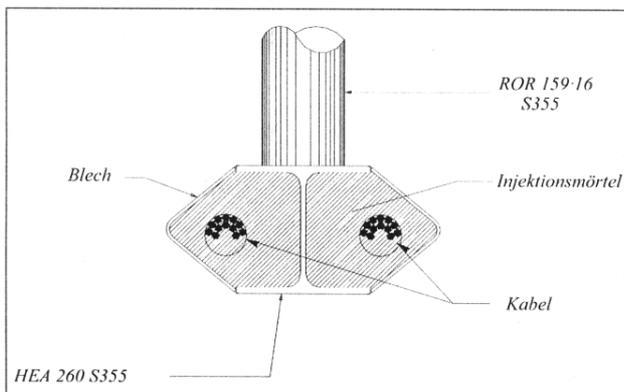


Bild 7. Querschnitt der vorgespannten Stahlunterspannung
Fig. 7. Cross section of the suspended prestressed steel tubes



Bild 9. Brücke über den Tessin in Villa Bedretto
Fig. 9. Bridge over the Tessin in Villa Bedretto

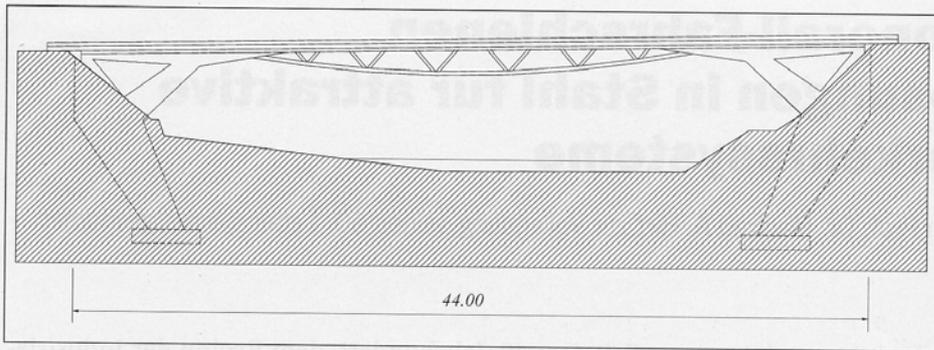


Bild 10. Brücke über den Tessin in Villa Bedretto

Fig. 10. Bridge over the Tessin in Villa Bedretto

Die Brücke ist bei einer Gesamtlänge von 44 m als lager- und fugenlose Konstruktion ausgeführt (Bild 10). Die Rahmenstiele sind geneigt, um die horizontalen Auflagerkräfte zu verringern und um das Erstellen der Gründungen zu erleichtern. Wie im Fall der Brücke über die Capriasca sind die Vorspannkabel über die gesamte Länge der Brücke durchgehend geführt und verlassen den Betonquerschnitt im Bereich des positiven Moments, um sich effektiver an der Lastabtragung zu beteiligen.

Gegenüber der Brücke über den Capriasca wurden bei diesem Projekt einige Details optimiert und der Bauvorgang leicht verändert. Im Bereich der Unterspannung wurden an den Umlenkstellen röhrenförmige Sättel angeschweißt. Dadurch erübrigt sich das Injizieren des Hohlraumes zwischen Hüllröhre und Stahlkasten vor der ersten Spannetappe. Die Spannkabel können direkt teilvorgespannt werden. Durch diese Maßnahme kann auch der Stahlquerschnitt optimiert werden, da durch die bereits aktivierte Vorspannung der Bauzustand nicht mehr für die Bemessung maßgebend ist. Die Injektion des gesamten Querschnittes erfolgt nun in einem Arbeitsgang nach Abschluß sämtlicher Vorspannarbeiten.

6 Bemessung

Durch geeignete Wahl des Bauvorgangs und der Spannetappen kann die Verformung des Oberbaus unter Eigenlasten minimiert werden. Die Nachweise der Durchbiegung unter ständigen Lasten und der Rißbeschränkung sind somit normalerweise nicht maßgebend. Dank der Steifigkeit der Unterspannung sind auch die Durchbiegungen unter Nutzlasten und die dynamischen Eigenschaften unproblematisch.

Theoretische Untersuchungen und eingehende Laborversuche an Brückenmodellen haben gezeigt, daß im Bruchzustand der Betonstahl der Fahrbahnplatte und die Unterspannung die Fließgrenze erreichen [10], [12], [13]. Wenn die Elemente korrekt konzipiert und bemessen werden, ist das Systemverhalten als duktil zu betrachten, so daß ohne Bedenken eine plastische Bemessung durchgeführt werden kann.

7 Schlußfolgerungen

Die hier vorgestellten Brückenprojekte, welche erfolgreich als Alternativvorschläge ausgeführt werden konnten, zeigen, daß das Konzept der unterspannten Träger

ein interessantes und effizientes Tragsystem darstellt. Durch geeignete Wahl der Anzahl an Umlenkstellen des Zugbandes und Optimierung der Form der Verbindungsstreben kann die Beanspruchung des Fahrbahnträgers stark reduziert werden. Es ergibt sich somit ein sehr schlankes und effizientes Tragwerk. Das System kann für einfache Träger [11] und in Verbindung mit Rahmentragwerken oder Durchlaufträgern [14] eingesetzt werden. Als Unterspannung werden im klassischen Fall

entweder Stahlprofile oder Vorspannkabel verwendet. Die anhand von zwei Beispielen dargestellte Kombination der beiden Technologien ermöglicht es, die Vorteile beider Konzepte zu vereinigen.

Literatur

- [1] *Dietrich, R. J.*: Faszination Brücke, Baukunst – Technik – Geschichte. München: Callwey 1998.
- [2] *Peters, T. F.*: Fünf Schweizer Brückenbauer, Guillaume-Henri Dufour. Zürich: Verein für wirtschaftshistorische Studien 1985.
- [3] *Dischinger, F.*: Patentschrift Nr. 727 429, patentiert im Deutschen Reich vom 8. 12. 1934 an, siehe auch Auszug in [4].
- [4] *Günschel, G.*: Große Konstrukteure I, Berlin: Verlag Ullstein 1966.
- [5] *Ganz, H. R., Meyer, M. E.*: Segmentbauweise, Schweizer Ingenieur und Architekt (1997), S. 528–533.
- [6] *Mathivat, J.*: L'évolution récente des ponts en béton précontraint, Ingénieurs et architectes suisses (1987), S. 86–91.
- [7] *Wössner, K., Andrä, W., Kahman, R., Schumann, H., Hommel, D.*: Die Neckartalbrücke Weitingen. Stahlbau 52 (1983), S. 65–77 u. S. 113–124.
- [8] *Schlaich, J., Seidel, J., Sander, D.*: Teilweise unterspannte Schrägseilbrücke über die Obere Argen. IVBH 13. Kongreß (1988), Helsinki, Bericht, S. 863–868.
- [9] *Manterola Amisen, J., Fernandez Troyano, L., Lopez Padilla, A., Martinez Cutillas, A.*: The Osormort Viaduct near Barcelona. L'industria italiana del cemento (2000), S. 384–397.
- [10] *Menn, C.*: Unterspannung von Brückenträgern mit gedrungenem Querschnitt, Eine sinnvolle Anwendung der externen Vorspannung. Bauingenieur 65 (1990), S. 209–219.
- [11] *Muttoni, A.*: Brücken mit einem innovativen statischen System. Schweizer Ingenieur und Architekt (1997), S. 548–551.
- [12] *Fürst, A.*: Vorgespannte Betonzugglieder im Betonbau. IBK-Bericht 267, Basel-Boston-Berlin 2001.
- [13] *Fürst, A., Marti, P.*: Versuche an Trägern mit Unterspannung aus vorfabrizierten, vorgespannten Betonzuggliedern. IBK-Bericht 243, Basel-Boston-Berlin 1999.
- [14] *Muttoni, A.*: Ponts avec un système statique innovant, Progrès dans la conception des ouvrages en béton. Journée d'étude SIA-GPC du 8 octobre 1999, Dokumentation SIA D 0160, S. 33–36.

Autor dieses Beitrages:

Prof. Dr. Aurelio Muttoni, Eidgenössische Technische Hochschule, Lausanne, Institut für Tragwerke – Massivbau, CH-1015 Lausanne, aurelio.muttoni@epfl.ch