

Geraldine Buchenau*)

Das Erdevicki Structural System – ein innovatives Seiltragsystem für Brücken- und Dachkonstruktionen

Das Seiltragsystem wurde 1995 als Erdevicki Structural System in Wien entwickelt. Das System stellt eine innovative Alternative zu Hänge- und Schrägseilsystemen dar. Es besteht aus einem Einfeldträger, oberen und unteren Zuggurten, diagonalen Druckstreben und senkrechten Zugelementen, die die Diagonalen mit dem Träger verbinden. Relativ kurze Abstände zwischen den Zuggurtnoten ermöglichen einen wirtschaftlichen Einsatz von Zugstäben, sorgen für ein sehr gutes Schwingungsverhalten und eine gute Ausnutzung der Zugelemente. Das Tragkonzept besteht im wesentlichen in einer Reduzierung der auf den Hauptträger wirkenden positiven Momente. Die Trägermomente lassen sich auf praktisch jedes gewünschte Niveau reduzieren.

The Erdevicki Structural System – a new structural system for bridge and roof design.
The Erdevicki Structural System has been developed in Vienna 1995. It represents an innovative alternative to suspension and cable stay structures. The Structural System consists of a main single span girder element, top and bottom tension chords, diagonal compression struts and vertical tension elements connecting the diagonals to the girder. Relative short distances between the joints of the tension chords enable economical application of tension rods, very good vibration characteristics as well as good utilization of tension capacity from the applied elements. The basic system structural approach is to reduce the main girder positive moments. It is possible to reduce girder moments to virtually any level desired by the designers.

1 Einführung

Das Seiltragwerk Erdevicki Structural System (ESS) wurde 1995 von *Dejan Erdevicki* in Wien entwickelt und 1998 in Österreich patentiert. Das Tragsystem stellt eine innovative Alternative zu Hänge- und Schrägseilsystemen dar. Bisher wurde noch keine Konstruktion dieser Art ausgeführt. Entwürfe zu einer Fußgängerbrücke zur Verbindung von Gartenanlagen auf einer Hügelkette um Singapur-Stadt und zu einer Dachkonstruktion mit einer Spannweite von 100 m für die Stadt Wien liegen vor.

*) Nachfolgender Beitrag entstand auf der Basis von Unterlagen, die der Redaktion vom Erfinder des Erdevicki Structural System Herrn Dipl.-Ing. P. Eng. Struct. Eng. MStructE. *Dejan Erdevicki* zur Verfügung gestellt wurden.

2 Beschreibung des Systems

Beim Erdevicki Structural System handelt es sich um ein zur Brückenmitte symmetrisches Tragwerk (Bild 1). Es besteht aus einem einfeldrigen Haupt-

träger, der sich beidseits auf Widerlagern abstützt und von vorgespannten Trageilen gehalten wird, die in gleichmäßigen Abständen über diagonale Druckstreben gelenkig miteinander verbunden sind. Sowohl die unteren Spannseile, die feldmässig angeordnet aber kürzer als die Stützweite sind, als auch die oberen, die sich jeweils von einer ortsfesten Seilverankerung in Richtung Brückenmitte strecken, sind in den gemeinsamen Knotenpunkten mit den Diagonalen über lotrechte Seilelemente mit dem Einfeldträger verbunden. Das Tragwerk ist so ausgelegt, daß die oberen und die unteren Seile in allen Trägerbelastungsfällen auf Zug belastet werden. Das 1998 in Österreich patentierte Grundsystem besteht aus parallel zum Träger angeordneten Spannseilen (s. Bilder 1 und 2, SL 1).

Die Gurte des Erdevicki Structural Systems müssen jedoch nicht unbedingt parallel zum Einfeldträger verlaufen – unterschiedlichste Modifikationen sind denkbar. Bei dem im

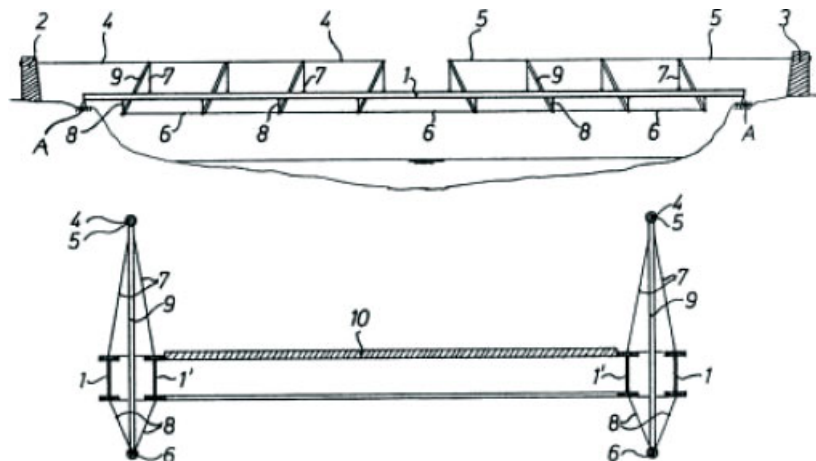


Bild 1. Patentiertes System
 Fig. 1. Patented system

Aufsatz beschriebenen Beispiel, einem Brückenentwurf für eine Parkanlage in Singapur-Stadt, handelt es sich um ein Tragsystem, bei dem die obere Zuggurte zur Brückenmitte hin geneigt sind. Eine weitere Systemvariation – die statisch weniger effizient aber ästhetisch ansprechend ist – wäre, die Obergurte zur Brückenmitte hin ansteigen zu lassen, wie beispielhaft in Bild 2 durch das System SL 2 dargestellt. Eine mögliche Variante für größere Spannweiten oder für Situationen, in denen kürzere Diagonalelemente wünschenswert sind, bietet das Tragsystem SL 3 (vgl. Bild 2).

Die Anzahl der Diagonalstäbe kann vom Planer frei gewählt werden, wobei eine Mindestzahl von sechs Stäben empfehlenswert ist. Durch eine größere Anzahl von Diagonalen lassen sich die Maße des Hauptträgers reduzieren, so daß ein äußerst schlanker Hauptträger denkbar wäre, auf den hauptsächlich Scherkräfte und praktisch kein Moment wirken.

Das Tragkonzept besteht im wesentlichen in einer Reduzierung der auf den Hauptträger wirkenden positiven Momente, indem entlang des Trägers negative Momente erzeugt werden, ohne die auf den Träger wirkenden Axialkräfte zu beeinflussen (vgl. Bild 3). Die negativen Momente werden durch das System aus senkrechten Seilelementen in Form eines senkrechten Kräftepaars in jedem Strebenbereich erzeugt. Die diagonalen Druckstreben sowie die oberen und die unteren Zuggurte bewirken, daß die negativen Momente in zwei horizontale Kräfte aufgeteilt werden. Die Horizontal- und die Vertikalkräfte werden in die Verankerungspunkte übertragen, wie Bild 3 unten verdeutlicht.

Infolge des Systems lassen sich die Trägermomente auf praktisch jedes gewünschte Niveau reduzieren. Die Abmessungen des Trägers werden infolge der Anforderungen bestimmt, die sich aus Biegemomenten und zugehörigen Scherkräften ergeben. Für den Hauptträger und die Diagonalen kann Stahl, Beton oder Holz verwendet werden.

Vorteile des Erdevicki Structural Systems ergeben sich aus den relativ kurzen Abständen zwischen den Zuggurtnoten: Zugstreben können wirtschaftlicher eingesetzt werden, das Schwingungsverhalten der Stäbe bzw.

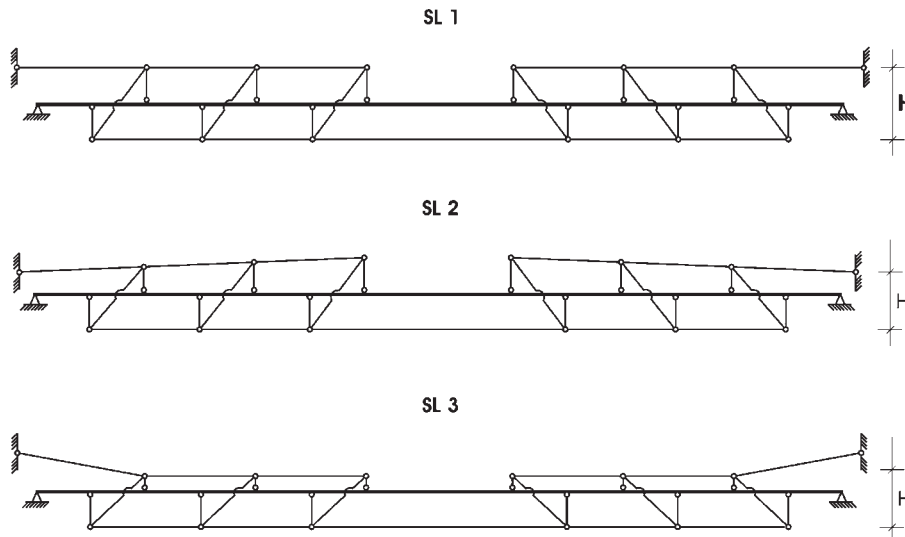


Bild 2. Modifikationen des Erdevicki Structural Systems
Fig. 2. Modifications of the Erdevicki Structural Systems

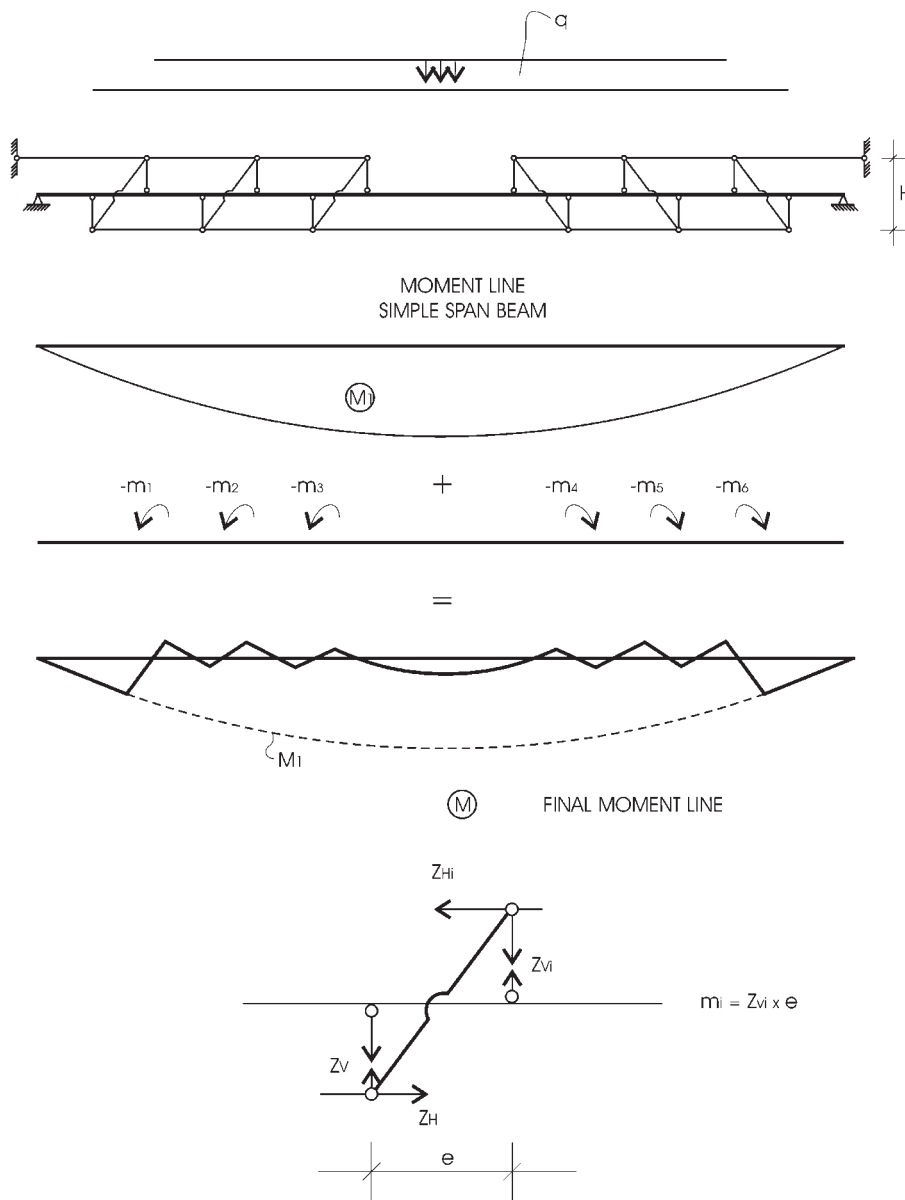


Bild 3. Grundlagen des Tragkonzepts
Fig. 3. Basic system structural approach

Kabel ist sehr gut, und Zugelemente werden optimal ausgenutzt.

3 Anwendungen

Das Tragsystem eignet sich für Fußgänger- und Straßenbrücken sowie für Dachkonstruktionen mit großer Spannweite. Besonders wirtschaftlich läßt sich das System für Brücken mit Felswiderlager ausführen, in denen die Zugelemente einfach und zuverlässig verankert werden können. Es bietet sich an, das System für Dachkonstruktionen mit Spannweiten von mehr als 40 m einzusetzen, wie z. B. Stadien, Sporthallen, Hangars und Industriehallen. Bild 4 zeigt eine für die Stadt Wien entworfene Dachkonstruktion mit 100 m Stützweite mit einer maximalen Durchbiegung von $L/300$.

4 Fußgängerbrücke: Henderson Crossing Bridge

Die Anwendung des Erdevicki Structural Systems wird im folgenden anhand eines im Rahmen des „Southern Ridges“ Entwurfswettbewerbs 2004 eingereichten Vorentwurfs näher erläutert. Zur Verbindung zweier Stadtparks entlang der Hügelkette Southern Ridges in Singapur wurde ein Gestaltungsentwurf für die zukünftige Henderson Crossing Bridge gesucht.

Bei dem zum Wettbewerb eingereichten System handelt es sich um ein modifiziertes Erdevicki Structural System, wobei der Hauptträger als Durchlaufträger ausgeführt ist und weder die oberen noch die unteren Zuggurte zum Träger parallel angeordnet sind (s. Bild 5). Das Entwurfsteam setzte sich wie folgt zusammen:

- Statik: *Dejan Erdevicki*, Erdevicki Structural Engineering, Vancouver, Kanada
- Design: *Allan A. Hepburn*, The Colborne Architectural Group Pacific Inc., Vancouver, Kanada
- Arup Singapore PTE, Singapur
- Seifert Asia, Singapur

4.1 Allgemeines Entwurfskonzept

Der Entwurf für die Henderson Crossing Bridge stellt eine direkte visuelle und physische Verbindung zwischen den Pavillons im Mount Faber Park und im Telok Blangah Hill Park her (s. Bild 6). Die bestehenden Gartenanlagen bestimmen die Ausrichtung des Grundrisses. Der östliche Ausgangspunkt der Brücke wird von einer Rundterrasse im Mount Faber Park gebildet, in deren Mittelpunkt ein Pa-

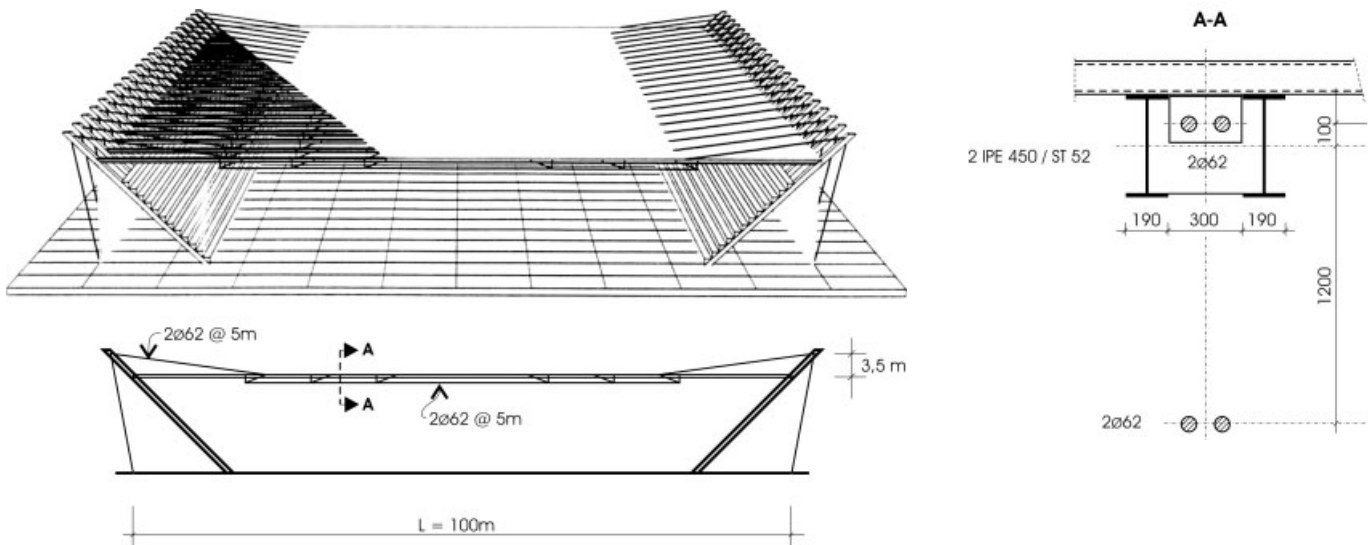


Bild 4. Dachkonstruktion für die Stadt Wien
Fig. 4. Loading requirements of the city of Vienna



Bild 5. Ansicht und Perspektive der Fußgängerbrücke Henderson Crossing Bridge
Fig. 5. View and Perspective of the pedestrian bridge Henderson Crossing Bridge

villon steht. Von hier aus verläuft die Brücke mit leichter Steigung zu einer Terrasse, die die Zufahrtsstraße unterhalb des Telok Blangah Hill Pavillons tangiert. Die Brücke endet auf dem Niveau der Zufahrtsstraße, da eine Überbrückung der Straße zu einer übermäßigen Steigung über die gesamte Brückenlänge geführt hätte.

Der Entwurf zielte auf eine leichte, elegante und gleichzeitig ausdrucksvolle Konstruktion ab. Die beiden jeweils in einem leichten Bogen zueinander verlaufenden Gehwege treffen in der Mitte zusammen und bilden dort eine größere Aufenthaltsfläche mit Blick auf das darunterliegende

tal. Dadurch, daß sich bei dem speziellen System die oberen Trageiseile von beiden Widerlagern aus in Richtung Brückenmitte strecken, aber vorher enden, bietet es sich an, im Zwischenraum, der dem Aufenthaltsbereich entspricht, eine freistehende Skulptur als Blickfang aufzustellen.

Die Brückenkonstruktion besteht aus epoxidbeschichtetem Stahl mit weißer Oberfläche. Die Gehwege sind mit feinem Zuschlagstoff belegt. Die zwischen den Gehwegen abtauchenden Druckstreben weisen eine ausdrucksvolle Form auf. Integrierte Anschlußbleche an beiden Enden dienen der Aufnahme von über, durch und un-

ter der Brückenoberfläche verlaufenden Zugstrebengruppen. Nach innen geneigte Handläufe entlang der äußeren Brückenränder steigern das Gefühl von Sicherheit (Bild 7). Verbindungszone zwischen den Gehwegen bieten Raum für Sitzbänke, Rollstühle und Kinderwagen und sollen zu Konversation einladen (Bild 8). Die Zwischendecks sind in Teakholz ausgeführt, um Kontrast zu bieten und ein Gefühl von Behaglichkeit zu verleihen. Rund um die sich zwischen den Gehwegen bildenden Öffnungen sind Sitzbänke angeordnet. Aluminiumgitter schließen die Öffnungen über den Verstrebungen zur Sicherheit.

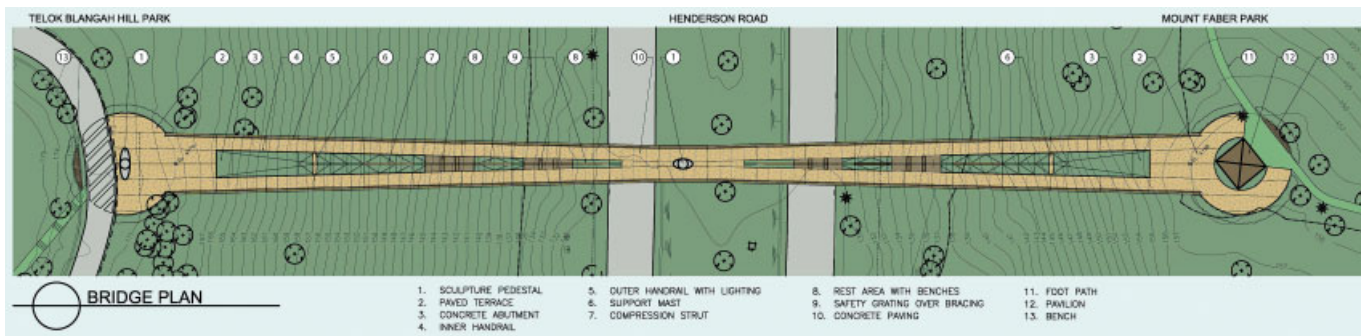


Bild 6. Grundriß der Henderson Crossing Bridge
 Fig. 6. View from below to the Henderson Crossing Bridge

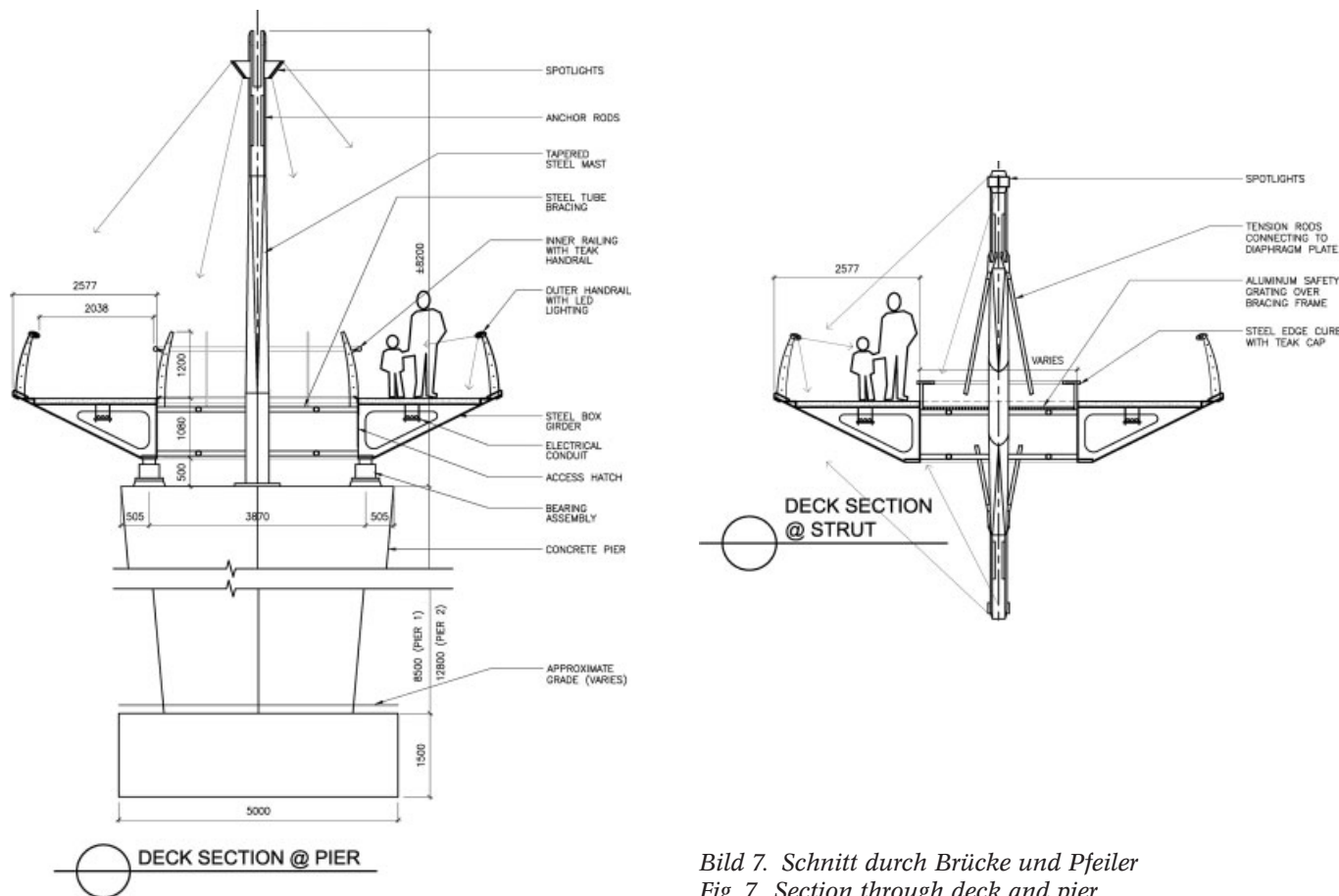


Bild 7. Schnitt durch Brücke und Pfeiler
 Fig. 7. Section through deck and pier

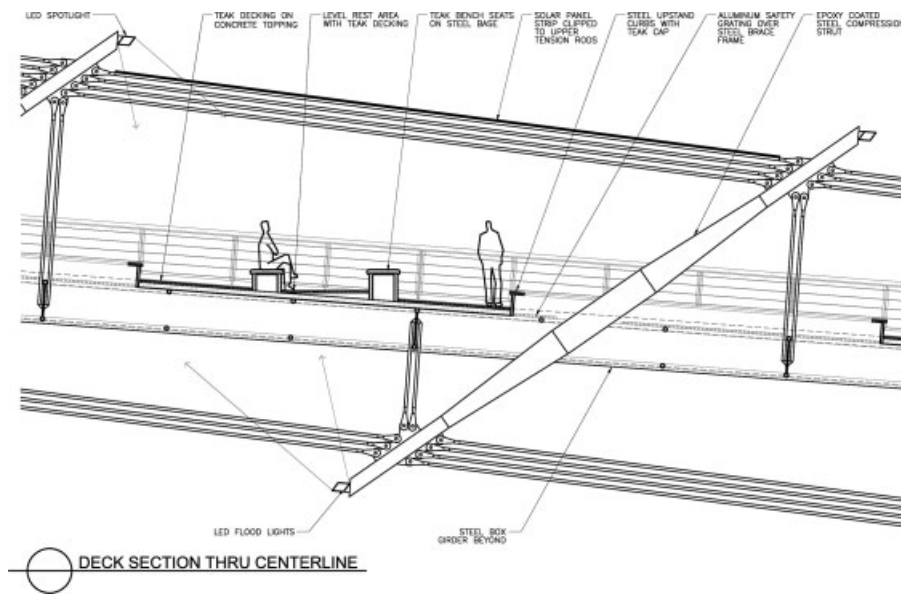


Bild 8. Schnitt durch die Brückenlängsachse
Fig. 8. Section through deck and centreline

4.2 Dynamik

Das Tragsystem des Brückenentwurfs weist ein gutes dynamisches Verhalten auf, ohne daß zusätzliche Dämpfungssysteme erforderlich wären. Die erste vertikale dynamische Schwingfrequenz beträgt $f = 0,99$ Hz. Die Beschleunigung der Brücke aufgrund von Fußgängerlast errechnet sich zu $a = 0,12$ m/s². Dieser Wert liegt wesentlich unter dem zulässigen Grenzwert von $0,5$ m/s². Die erste seitliche Schwingfrequenz beträgt $1,27$ Hz (kritischer Bereich $0,5$ bis $1,2$ Hz).

4.3 Hauptträgersystem

Der Hauptträger setzt sich aus zwei verwindungssteif verbundenen Kastenträgern zusammen. Im mittleren Brückenbereich bilden diese Träger eine Einheit. Die Gehwege sind aus 100 mm dickem Beton ausgeführt und schubfest mit dem darunterliegenden Kastenträger aus Stahl verbunden. Dieses Konzept wurde gewählt, um eine in horizontaler Richtung steife Konstruktion zu bieten, und um dynamische Probleme in seitlicher Richtung sowie Windflattereffekte zu vermeiden. Ein weiterer Vorteil dieser Konfiguration besteht dar-

in, daß entlang der Brückenmitte Öffnungen zur Aufnahme von diagonalen Streben und Zugstäben vorgesehen werden können.

Das Verhältnis von Trägertiefe und Spannweite beträgt $1/111$. Das gesamte System wird vorgespannt, so daß unter Eigenlast in der Mitte des Hauptfeldes keine Durchbiegung zu verzeichnen ist. Die maximale Durchbiegung unter Verkehrslast beträgt demnach 240 mm. Das System weist sowohl in senkrechter als auch in seitlicher Richtung minimale Schwingungsempfindlichkeit auf.

4.4 Zugstäbe

Im Brückenentwurf kommt ein Zugstab-System aus Deutschland zur Anwendung. Das Pfeifer-Zugstabsystem vom Typ 860 besteht aus Stäben mit einem Durchmesser von 60 mm und bietet eine Streckgrenze von mindestens 460 N/mm². An den Enden der Gabel-Verbindungselemente kommt jeweils ein Links- und Rechtsgewinde zum Einsatz, so daß die Länge exakt durch einfaches Drehen der Stäbe eingestellt werden kann. Die Stäbe sind feuerverzinkt und bieten somit Korrosionsschutz gemäß DIN EN ISO 1461. Stabverbindungselemente

sind lediglich unterhalb des mittleren Brückenfeldes mit einer Stablänge von 40 m erforderlich und für die Stäbe, die die Kabelträger mit den Endwiderlagern verbinden. Die maximale axiale Stabtraglast berechnet sich zu 674 kN. Als Alternative wurde ein Kabelsystem in Erwägung gezogen. Dem Stabsystem wurde jedoch aufgrund der offensichtlichen ästhetischen Vorteile und der geringeren Kosten der Vorzug gegeben.

4.5 Fundamente, Pfeiler und Widerlager

Jeder Stahlbetonpfeiler ruht auf vier Pfählen, die aus betongefüllten Stahlrohren mit 610 mm Durchmesser bestehen. Für die Pfahlkopffplatten sind jeweils zwei Verpreßanker geplant. Die maximale Pfahltraglast errechnet sich zu 1300 kN. Die Widerlager ruhen auf sechs Pfählen und sind mit 14 Verpreßankern mit einer maximalen Zugkraft von 6742 kN verankert. Für die Verpreßanker ist ein Dywidag-System vom Typ 11 mit doppelt korrosionsgeschützten Stahlgewindestabankern (Qualität 99/1030) vorgesehen. Die maximale Ankerlast errechnet sich zu 480 kN.

5 Zusammenfassung

Das beschriebene Seiltragsystem eröffnet neue Möglichkeiten für Konstruktionen mit großer Spannweite. Bisher konnten jedoch noch keine auf diesem System beruhenden Bauwerke ausgeführt werden. Der Beitrag soll das Erdevicki Structural System der Fachöffentlichkeit, Ingenieuren und Architekten vorstellen und somit einen Beitrag zur Weiterentwicklung moderner Architektur und Statik darstellen.

Weitere Informationen:

Dejan Erdevicki Dipl.-Ing., P.Eng., Struct.Eng.,
MIStructE, Erdevicki Structural Engineering,
erdevicki@telns.net, 300-4940 Canada Way,
Burnaby, BC, V5G4M5, Kanada,

Bearbeiterin dieses Beitrages:

Dr.-Ing. Geraldine Buchenau, Rommelstraße 9,
70376 Stuttgart