Baustelleninstallation und Bauvorgang: Sunnibergbrücke: Optimierungsaufgabe für die Unternehmung

Autor(en): **Rietmann, Beat / Schürer, Heinz**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **116 (1998)**

Heft 44

PDF erstellt am: **28.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-79591

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

tiger Absprachen. Entscheide benötigen deshalb mehr Zeit. Die Anweisungen an den Unternehmer müssen eindeutig nach Pflichtenheft erfolgen.

Schutzmassnahmen während Tunnelausbruch

Der Baubetrieb in der Tunnelausbruchphase verlangt während etwa drei Jahren durchschnittlich 60 Fahrten pro Tag mit Grossdumpern zu 20 m^3 Muldeninhalt. Diese besondere Brückennutzung bringt als wesentliche Einwirkungen:

- Erhöhte Verschmutzung der neuen Brückenkonstruktion
- Intensive Schwarzräumung der Fahrbahn während des Winters
- Beschädigungen des Deckbelags durch kantiges Felsmaterial
- Mechanische Beschädigungen der Brüstungen und Leitplanken

Voraussichtlich werden folgende Schutz- und Unterhaltsmassnahmen realisiert:

- Einbau einer Deckschicht (AB 11 S) anstelle des definitiven HRA-Deckbelags
- Durchgehender Belagseinbau zwischen Tunnel und Brücke
- Vollständiger Betonoberflächenschutz auf Pylon und Brüstung
- Vollflächiges Abdecken der Brüstungsinnenseite
- Normaler betrieblicher Unterhalt für Fahrbahn und Entwässerung

Schlussbemerkung

Aus Sicht der örtlichen Bauleitung kann festgehalten werden, dass dank der Fachkompetenz aller Beteiligten und der guten Zusammenarbeit unter der Leitung des Tiefbauamts Graubünden die Zielvorgaben bezüglich Qualität, Termin und Kosten erreicht werden konnten. Anerkennung verdient die beeindruckende technische und terminliche Leistung der Arbeitsgemeinschaft Sunnibergbrücke.

Adresse des Verfassers:
Thomas Trüb, dipl. Bauing. ETH/SIA, Ingenieurbüro Wüst+Trüb+Partner AG, 7249 Klosters/Serneus

Beat Rietmann, Serneus, und Heinz Schürer, Zürich

Baustelleninstallation und Bauvorgang

Sunnibergbrücke: Optimierungsaufgabe für die Unternehmung

Kosten- und Terminvorgaben beeinflussten einerseits die Kranwahl, sie führten aber insbesondere auch zu einem günstigeren Unternehmervorschlag für die Etappierung des Freivorbaus.

Die gegebene Situation, Rezession in der Bauwirtschaft einerseits, anderseits ein interessantes Brückenprojekt, das einen Kostenrahmen nicht übersteigen sollte, hatte schon während der Submission unsere Gedanken stark beeinflusst und uns nach wirtschaftlichen Lösungen suchen lassen. Dabei mussten die Antworten auf viele gewichtige Fragen gefunden werden, die direkt in die Kalkulation einflossen:

- Wie sieht das optimale Krankonzept in bautechnischer wie auch in wirtschaftlicher Hinsicht aus ?
- Wie sieht der optimale Bauablauf aus?
- Wie lange muss im Winter vernünftigerweise auf Betonarbeiten verzichtet werden?
- Wieviele Freivorbauwagen, Gerüste für die Grundetappen, Pfeiler- und Pylonschalungen sind notwendig, um das Projekt in der vorgegebenen Bauzeit zu realisieren?
- Wie werden Lehrgerüst für die Grundetappe und Freivorbauwagen konzipiert, und wie können diese kombiniert und optimiert werden?
- Kann für das Erstellen des Fahrbahnträgers von einem Wochentakt ausgegangen werden, und wieviel Personal ist dafür notwendig?

Installationen und Bauprogramm

Installationen/Krankonzept

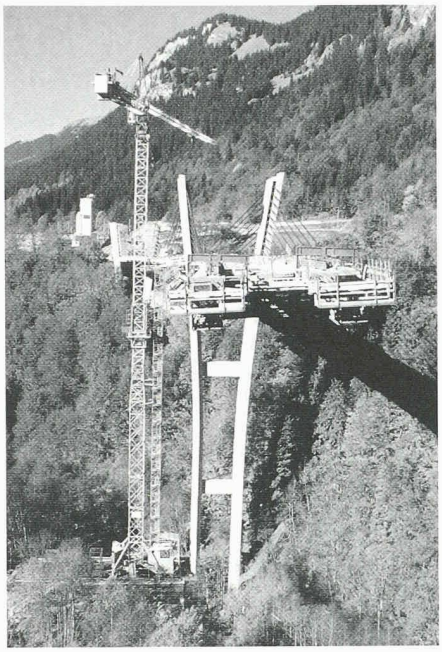
Das optimale Installationskonzept konnte nur durch intensives Studium der vielen, sehr komplexen Randbedingungen gefunden werden. Die Ausarbeitung und der Vergleich vieler möglicher Varianten führte letztlich zur bautechnisch und wirtschaftlich besten Lösung. Schnell zeigte sich, dass die Krane möglichst nahe am Pfeiler/Pylon stehen mussten, um die bis zu 8 t schweren Teile der Stahlkonstruktion für den Pylon elegant montieren zu können. Um den Brückenteil bei Pfeiler P1 (inkl. Widerlager Büel) mit einer Länge von 130 m und einer Höhe von 37 m bedienen zu können, musste beim Einsatz eines Krans mit 60-m-Ausleger eine Kranbahn von 16 m Länge erstellt werden. Bei Pfeiler P2 mit den Hauptabmessungen von 140 m Länge und 77 m Höhe wäre beim Einsatz desselben Krantyps eine Kranbahn auf einem Gerüst von 26 m Länge und über 20 m Höhe ab Talboden (max. Hakenhöhe: 62 m fahrbar) notwendig gewesen, wobei die Fundationen genau in die Landquart zu liegen gekommen wären.

Die enormen Kosten, insbesondere für die aufwendigen Fundationen, aber auch für das schwere Gerüst, mussten der Miete oder dem Kauf eines noch grösseren Krantyps gegenübergestellt werden. Der Vergleich gab eindeutig zugunsten der Variante Miete bzw. Kauf eines neuen Krans den Ausschlag.

Ein Kran mit 70-m-Ausleger und einer Hakenhöhe von 78 m musste dennnoch auf ein Trägergerüst direkt über die Landquart gestellt werden, damit einerseits der vorgeschriebene Freiraum von 5 m ab Flusssohle eingehalten wurde und anderseits zwischen OK Pylon und der maximalen Hakenhöhe noch mindestens 6 m Platz blieb (Bild 1).

Für den Pfeiler P3 mit ähnlichen Abmessungen wie P2 konnte die Lösung «Kran mit 60-m-Ausleger auf Gerüst» aus topographischen Gründen mit weit weniger Aufwand als bei P2 realisiert werden. Dabei wurde der fahrbare Kran (umgestellt von P1) auf ein Turmgerüst von 32 m Länge und 13 m mittlerer Höhe gestellt (Bild 5).

Nach Fertigstellung des Brückenteils bei P2 hätte dieser Kran zum Pfeiler P4 umgestellt werden sollen. Mit einer kleinen Kranbahn wäre dieser letzte Brückenteil (Länge: 141 m, inkl. WL Drostobel, Höhe: 54 m) problemlos zu bedienen gewesen. Völlig veränderte Verhältnisse im Bereich der geplanten Kranbahn infolge der bauseitig erstellten Erschliessungsstrasse und eine verlegte Hochspannungsleitung mit vorgängig unbekannten Höhenverhältnissen führten jedoch zu einer umfassenden Konzeptänderung in diesem Brückenbereich. Mit einem zusätzlichen Kran im Bereich des WL Drostobel konnte aber auch hier, obwohl eingeengt durch Projekt und



1
Pfeiler P2 mit Kran

Hochspannungsleitung, eine zufriedenstellende Lösung gefunden werden. Die für die Montage bzw. Demontage dieser Grosskrane erforderlichen grossen und schweren Pneukrane durften infolge einer Gewichtsbeschränkung die Prättigauerstrasse nicht befahren, so dass ein aufwendiges und kostspieliges Auf- bzw. Ab-Klettern von mehreren Turmelementen notwendig wurde.

Bauablauf und -programm

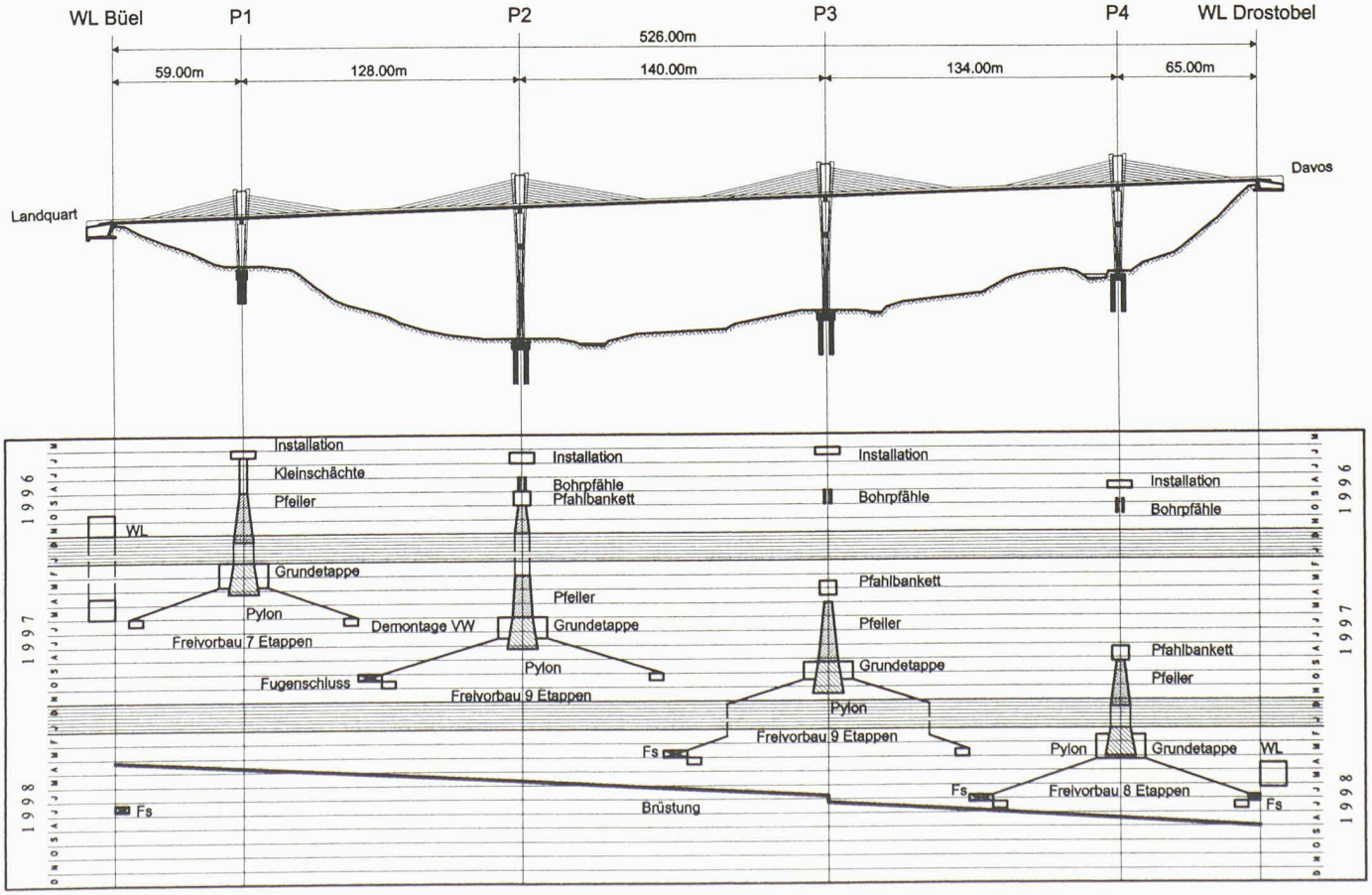
Der Baubeginn (Anfang Juni 1996) und die Vollendung des Rohbaus, als Voraussetzung für Abdichtungs- und Belagsarbeiten (31.8.1998), waren vorgegeben und unter allen Umständen einzuhalten. Mit dem gleichzeitigen Einsatz von drei bis vier Grosskranen und entsprechender Anzahl an Inventar, Personal, Pfeiler- bzw. Pylonschalungen, Gerüsten für die Grundetappe und Freivorbauwagen wäre die Bauzeit sogar mit komfortablen Winterpausen leicht realisierbar gewesen. Die Aufgabe in der Submission bestand aber darin, anhand der vielen Randbedingungen (Umgebung, Projekt, Bauzeit, Witterung usw.) einen technisch einwandfreien Bauablauf und ein realistisches Bauprogramm mit genügender Winterpause zu entwickeln. Davon ausgehend konnte dann das wirtschaftlichste Installationskonzept erarbeitet werden. Für das Erstellen der einzelnen Bauwerksteile wurden daher auf Arbeitstage bezogene Leistungsannahmen getroffen. Der Schlüssel zum optimalen Gelingen des Bauwerks lag eindeutig in einer geschickten Lösung für das Erstellen des Knotenpunkts Grundetappe-Pylonstiel-Fahrbahnträger.

Aufgrund all dieser Randbedingungen, Annahmen und Überlegungen kamen wir zum Entschluss, das Bauwerk mit zwei Grosskranen, einem zusätzlichen Kleinkran, zwei Vorbauwagenpaaren, einem Gerüst für die Grundetappe, zwei Pfeilerschalungen und einer Pylonschalung zu realisieren. Die Winterpausen wurden mit eineinhalb bis zwei Monaten angenommen, wobei darauf geachtet wurde, in den ersten Wochen nach Wiederaufnahme der Arbeiten (jeweils im Februar) keine bis wenige Betonarbeiten auszuführen (Bild 2).

Die Einsätze der Freivorbauwagen überschnitten sich lediglich in den Demontage- bzw. Montagearbeiten, was gegenüber dem Einsatz nur eines Wagenpaars eine zwei- bis dreimonatige Bauzeiteinsparung bedeutete. Aufgrund des eindeutig definierten Fertigstellungstermins und der Komplexität des Bauwerks wurde daher (wie vom Bauherrn vorgegeben) mit zwei Freivorbauwagenpaaren gerechnet.

Die getroffenen Leistungsannahmen konnten nach einer Anlaufphase einigermassen erreicht werden. Bei der Pfeilererstellung reduzierte sich der angenommene Takt von fünf Tagen pro Stieletappe in den

2
Bauprogramm mit Haupttätigkeiten



Wochentakt Freivorbau

Do Betonieren Längsträger und Platte, gleichlaufend Ballast entfernen

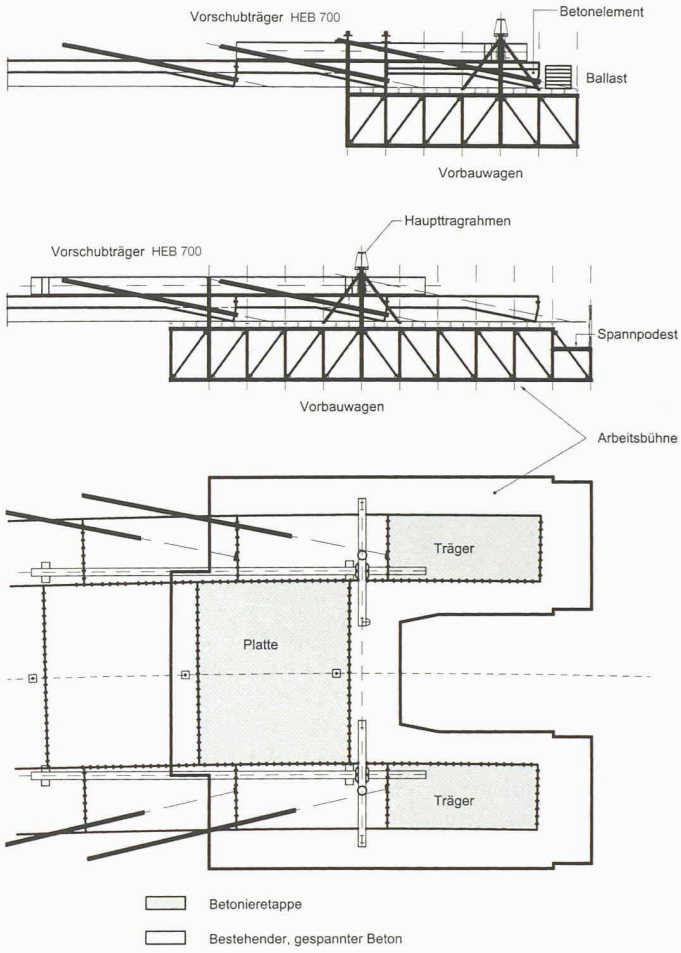
Fr Stirnschalungen entfernen, Vorschubträger für nächste Etappe positionieren, Spannpressen montieren und Initialzugkraft aufbringen

Mo Schrägseile spannen in 4-6 Spannstufen und gleichlaufend Ballast aufbringen (bis Etappe 5), Freivorbauwagen mit hydraulischen Pressen im Haupttragrahmen absenken, vorfahren; Schalen, Versetzen Trompetenrohr fallender (steigender) Vorbauast, Abrollen Schrägseile ab Bobine für nächste Etappe

Di Schalen, Versetzen Trompetenrohr steigender (fallender) Vorbauast, Armieren fallender (steigender) Vorbauast, Vorbereiten Schrägseile für Montage

Mi Armieren steigender (fallender) Vorbauast, Montage Schrägseile für nächste Etappe

Der Wochentakt für die Montage der Schrägseile findet sich in Bild 3, S. 854.



4
Schema Freivorbauwagen. oben : Ausschreibung, unten : Variante

Sommermonaten 97 mit der gleichen Equipengrösse um einen Tag. Demgegenüber waren die Aufwendungen für die Pylonstiele mit der massiven Stahlkonstruktion und der starken Vertikalvorspannung eher knapp bemessen.

Für die Erstellung des Fahrbahnträgers im Freivorbau war das Ziel von Anfang an klar : So schnell wie möglich in den Ein-Wochen-Takt zu gelangen. Ein Tag mehr hätte mindestens drei Tage Zeitverlust (minimale Betonfestigkeiten für das Spannen der Schrägkabel) bedeutet, womit das vorgegebene Bauprogramm mit entsprechendem Bauablauf nicht einzuhalten gewesen wäre (Kasten: Wochentakt Freivorbau und Bild 3, S. 854). Mit einer Equipe von sieben Mann (ohne Eisenleger) konnte der Wochentakt jeweils ab der dritten Etappe erreicht werden. Für das Verlegen der komplexen Armierung des Fahrbahnträgers war der Aufwand jedoch doppelt so gross wie ursprünglich kalkuliert.

3
Lehrgerüst Grundetappe mit Freivorbauwagen während Montage bei Pfeiler P4



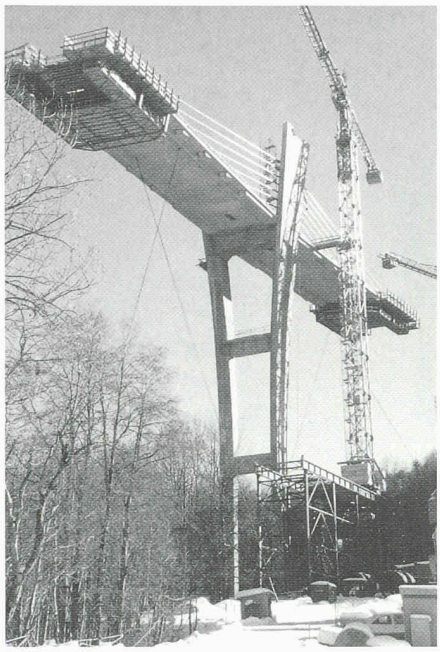
Lehrgerüste und Freivorbauwagen

Lehrgerüst Grundetappe

Normalerweise wird bei Freivorbaubrücken eine Grundetappe im Pfeilerbereich auf konventionellem Gerüst betoniert, um damit eine Montagefläche für den Freivorbauwagen zu schaffen. Da bei der an der Sunnibergbrücke gewählten Lösung der Vorbauwagen praktisch vollständig unter der Fahrbahn liegt, wurde dieses Vorgehen etwas abgeändert. Die Grundetappe wurde soweit verkürzt, dass sie auf einem aus Serienteilen bestehenden Stützgerüst, das auf den obersten Pfeilerquerriegel abgestellt war, betoniert werden konnte. An dieses Lehrgerüst wurden Schrägstreben als Montagehilfen und erste Tragelemente des Vorbauwagens montiert. Der zweite Teil der ursprünglich vorgesehenen Länge der Grundetappe wurde dann gewissermassen als «Vorbauetappe 0» betoniert (Bild 3).

Schalwagen für den Freivorbau

Die Ausführung des Vorbauwagens erfolgte aufgrund eines Unternehmervorschlags, der auch eine Abänderung des vorgesehenen Betoniervorgangs umfasste. Im Ausschreibungsentwurf war vorgesehen, den ganzen Querschnitt einer Betonieretappe auf einem Wagen von der Länge einer Etappe zu betonieren. Nach dem Vorfahren des Wagens wären dann die Schrägseile der folgenden Etappe an vorfabrizierten und einen Teil des endgültigen Querschnitts bildenden Betondruckelementen montiert und die Wagenkonstruktion auf Zug und Druck mit dem vorderen Aufhängepunkt verbunden worden (Bild 4). Der Nachteil dieses Systems bestand darin, dass wegen des sehr flachen Seilwinkels und wegen der Krümmung der Sunnibergbrücke das Einhalten der Soll-Lage am Aufhängepunkt erschwert wurde. Bei Längenänderung der Seile durch Temperatureinflüsse und den Betoniervorgang wären die grossen Vertikalbewegungen vorne am Vorbauwagen nur durch massiven und komplizierten Ballast-



5
Freivorbauwagen bei Pfeiler P3 in 7. Etappe. Gut sichtbar sind die Abspannseile zur Stabilisierung des Pfeilers im Bauzustand

einsatz während des Betoniervorgangs unter Kontrolle zu halten gewesen. Beim ausgeführten Variantenvorschlag wurde der Querschnitt in zwei Teilen betoniert:

- vorne die beiden seitlichen Längsträger
- hinten, um eine Etappe zurückversetzt, die Fahrbahnplatte (Bild 4).

Somit musste der Vorbauwagen über zwei Etappen, also doppelt so lang wie der ausgeschriebene Wagen, gebaut werden. Das ergab folgende, wesentliche Vorteile:

- das ganze System des Freivorbauwagens ist ausbalanciert und gibt seine Last im wesentlichen über eine Haupttragaxe auf die Brücke ab
- der ganze Wagen kann am bereits betonierten Fahrbahnträgerteil besser eingespannt werden, was geringere Bewegungen in der Anschlussfuge bewirkt
- auf ein vorfabriziertes Element und aufwendige Anschlussgelenke am vorgängigen Abschnitt kann verzichtet werden (Qualitätsverbesserung des Längsträgerquerschnitts)
- die Schrägkabel müssen erst nach dem Betonieren eine Tragfunktion übernehmen
- die Ballastierung des Vorbauwagens wird weniger schwer und weniger kompliziert

Konstruktion des Freivorbauwagens

Der Wagen wurde als räumliches Fachwerk konzipiert und, wie bereits erwähnt, in vorgefertigten Einzelelementen auf die an das Grundetappengerüst rückverankerten Streben montiert (Bild 3). Konstruktionselemente sind zwei kastenförmige Längsträger, verbunden mit einem in Wagenmitte liegenden Haupttrag- und einem hinteren Führungsrahmen, sowie zugehörige Horizontalaussteifungen (Bild 5).

Der Haupttragrahmen ist der einzige Konstruktionsteil, der über die Fahrbahn emporragt und dort im Vorfahrzustand die gesamte Eigenlast des Wagens auf die Verschubbahn und im Betonierzustand die Gesamtlast auf den Beton im Durchstosspunkt der Schrägseilaxen mit den Fahrbahnträgern der letzten Betonieretappe abgibt. Die hintere Tragaxe muss nur geringe Kräfte übertragen und dient im wesentlichen zur Stabilisierung des Wagens beim Vor- und Zurückfahren und beim Betonieren. Führungsrollen sind hier sowohl am Brückenrand oben wie auch unter der Fahrbahn angebracht. Eine konstruktive Schwierigkeit ergab sich wegen der engen Platzverhältnisse am Brückenrand, da die Führungsrollen nicht mit den seitlich variabel ausgerichteten Trompetenrohren der Schrägseile kollidieren durften. Glücklicherweise musste der Fahrbahnträger aus statischen Gründen noch etwas verbreitert werden, was mithalf, dieses Problem zu entschärfen.

Das Gewicht des Vorbauwagens samt Schalung beträgt ohne die Verschubbahn rund 40 t. Letztere besteht aus zwei Profilen HEB 700, die in der Betonierphase bis zum Etappenende auskragen. Nach dem Betonieren und Montieren der vorderen Schrägseile wurden sie am vorderen Betonende abgestützt und dienten dann zugleich als Ballastträger während des Spannvorgangs. Der Vorschub, abwechslungsweise des Wagens und der Verschubbahn, geschah hydraulisch mit Spezialpressen, die sich taktweise in auf die Verschubbahn geschweisste Stahlteile klinkten.

Demontage des Wagens

Dies war der schwierigste Teil in bezug auf den Vorbauwagen. Wegen der grossen Gewichte der Einzelelemente musste die Demontage in Pfeilernähe im Bereich grosser Krantraglast erfolgen. Der Wagen musste zurückgeschoben werden. Dazu war der Haupttragrahmen zu demontieren und durch Wälzlager am Brückenrand zu ersetzen. Weil die gesamte Konstruktion unterhalb des betonierten Fahrbahnträgers in grosser Höhe über Boden lag, mussten die seitlichen Fachwerke sorgfältig an Kettenzügen abgesenkt und «fliegend» an den Kran umgehängt werden. Die Mittelteile des Wagens waren oben durch Demontageaussparungen gesichert und wurden an-schliessend zum Boden abgesenkt.

Adressen der Verfasser:
Heinz Schürer, dipl. Ing. ETH/SIA, Ingenieurbüro Schürer, Predigergasse 15, 8001 Zürich, *Beat Rietmann*, dipl. Ing. ETH, Preiswerk & Cie AG, 7249 Serneus

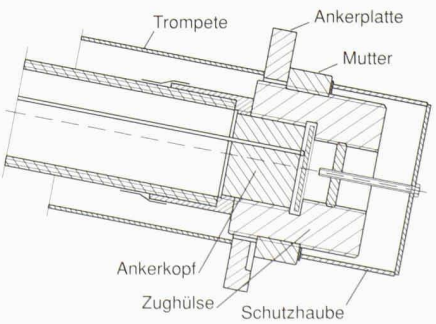
Jürg Däniker, Zürich

Schrägkabel

Sunnibergbrücke

Das Konzept der Sunnibergbrücke mit den ungewohnt flach geneigten, harfenförmig angeordneten Schrägkabeln, dem Freivorbau auf den hohen Pfeilern und dem gedrängten Bauprogramm verlangte entsprechend geeignete Kabel und dynamisch taugliche Verankerungen.

Neben ihrer statischen Funktion tragen die Schrägkabel zusammen mit den charakteristischen Pylonen wesentlich zum Erscheinungsbild dieses eleganten Brückenbauwerks bei. Eine konventionelle Durchlaufträgerbrücke kann man sich an dieser landschaftlich empfindlichen Stelle nicht mehr vorstellen. Ohne Vorspanntechnik



1
Spannbare Verankerung, Anordnung in Längsträger der Fahrbahnplatte