

Sunnibergbrücke - Besonderheiten der Ausführung

Autor(en): **Rietmann, Beat**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

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

Heft 19

PDF erstellt am: **08.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-79500>

Nutzungsbedingungen

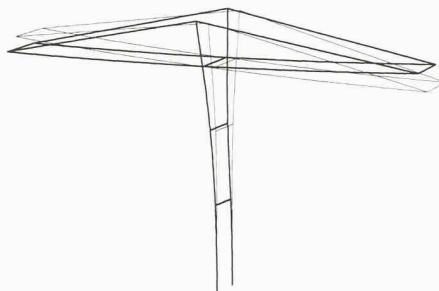
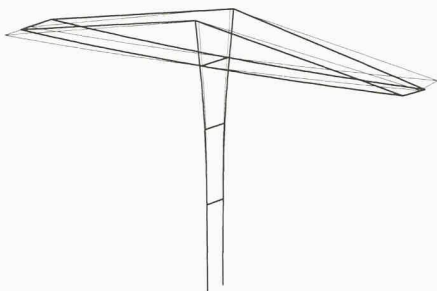
Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

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.



3

Pfeiler P2, erste bis dritte Schwingungsform

eigenfrequenz abhängig ist, oder wenn mit Resonanzerscheinungen gerechnet werden muss.

Für die Sunnibergbrücke musste der Zustand mit maximaler Auskragung von 66 m bei den vorhandenen hohen und schlanken Pfeilern sorgfältig untersucht werden. Die als Leitfahr auf tretende dynamische Windlast führte dazu, dass das Kragssystem abgespannt und die Bewehrungen im unteren Bereich der Pfeiler gegenüber dem Endzustand verstärkt werden mussten.

Die Eigenfrequenzen der drei ersten Modalformen betragen für den Zustand mit maximaler Auskragung:

Ohne Windabspannung	Mit Windabspannung
$f_1=0,04$ Hz	$f_1=0,09$ Hz
$f_2=0,12$ Hz	$f_2=0,16$ Hz
$f_3=0,29$ Hz	$f_3=0,30$ Hz

Die erste Schwingungsform (Bild 3) entspricht einer horizontalen Auslenkung der Fahrbahn mit einer in Längsrichtung gegenläufigen Auslenkung der beiden Pfeilerstiele (Torsion). Bei der zweiten Schwingungsform handelt es sich um eine Längs- und bei der dritten um eine Querbiegeschwingung des Pfeilers.

Für Windbeanspruchung massgebend ist die erste Schwingungsform mit $f_1=0,09$ Hz (abgespanntes System). Für

den dynamischen Windbeiwert c_{dyn} erhält man dabei rund 1,5. Am nicht abgespannten System mit $f_1=0,04$ Hz steigt c_{dyn} auf 1,65. Diese Ergebnisse zeigen sehr schön die starke Abhängigkeit des als Stosszuschlag eingeführten dynamischen Lastanteils.

Adresse des Verfassers:

Karl Baumann, dipl. Ing. ETH, Bänziger+Köppel+Brändli+Partner, Ringstrasse 37, 7000 Chur

Beat Rietmann, Serneus

Sunnibergbrücke – Besonderheiten der Ausführung

Die Sunnibergbrücke mit dem neuartigen Konzept und der sehr komplizierten Geometrie beeindruckt aufgrund der technischen Innovation und der überzeugenden Ästhetik. Für die Ausführung dieses äusserst komplexen Bauvorhabens waren verständlicherweise verschiedenste Schwierigkeiten zu bewältigen.

Im folgenden wird versucht, einige Besonderheiten aufzuzeigen und deren Ausführung zu beschreiben. Natürlich ist diese Schrägseilbrücke mit den Lösungen der beschriebenen Probleme noch lange nicht gebaut, sondern es steht damit erst ein Grundgerüst der Bauausführung. Erst die Bewältigung von vielen Detailproblemen führt schliesslich zum Erfolg.

Absteckung und Vermessung

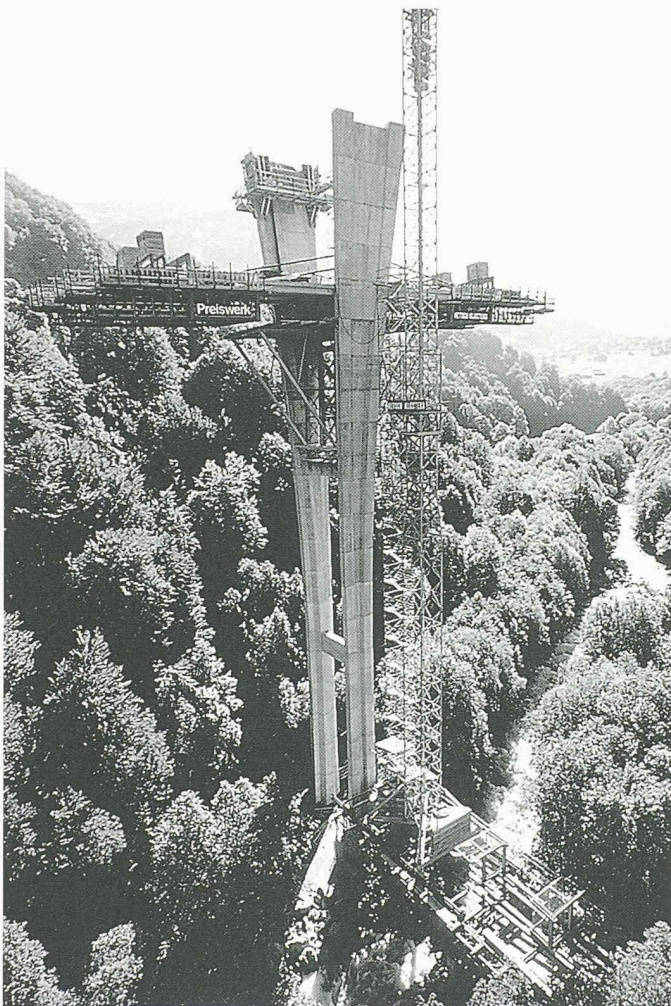
Bereits in der Submissionsphase hatten wir uns mit der ganzen Problematik der Vermessung und der Absteckung eingehend befasst, um einerseits das richtige Vermessungssystem und Absteckungsverfahren zu wählen und andererseits Aufwendungen und Kosten zu erfassen und zu optimieren.

Pfeiler und Pylon

Die einzelnen Pfeiler- bzw. Pylontappen sind durch stetige Querschnittsveränderungen in Brückenlängs- und durch zunehmende Vorneigungen in Brückenquerrichtung gekennzeichnet. Für die Absteckung wählten wir ein einfaches und effizientes Verfahren. Ausgehend von im Gelände versicherter Pfeiler- und

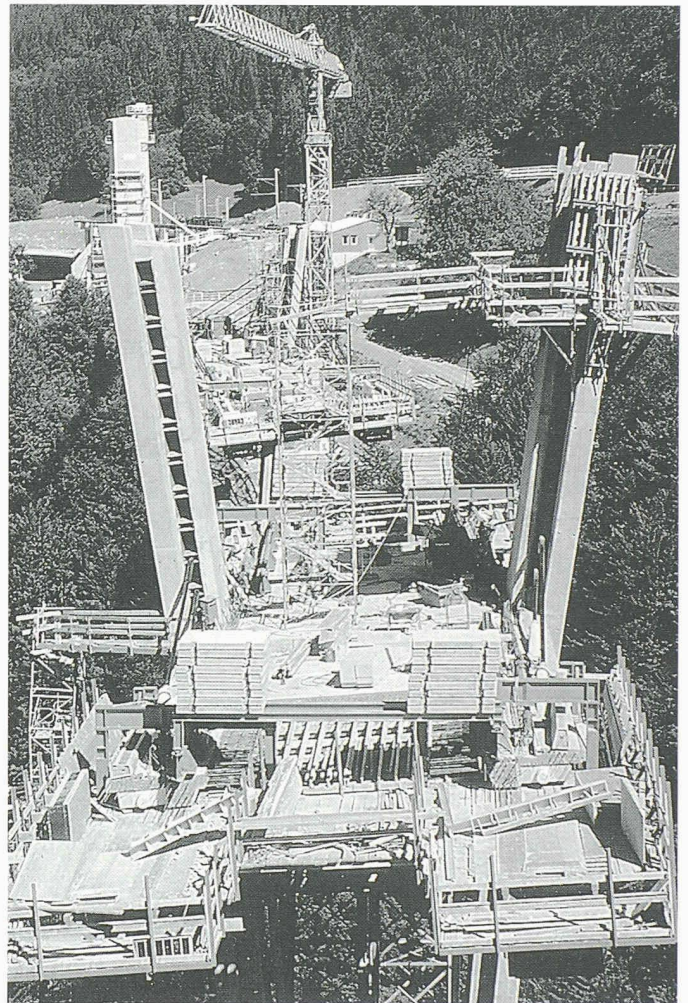
Brückenaxe (möglichst weiträumig) konnten mit dem Theodolit zwei vertikale, orthogonal zueinander liegende Referenz-Ebenen bestrichen werden. Bezüglich dieser Ebenen wurden nun die notwendigen Schalungspunkte mit dem Messband auf der entsprechenden Höhenkote eingemessen. Dabei gestaltete sich die Berücksichtigung von Projekt- oder Schalungsüberhöhungen und/oder allfälligen Soll-Korrekturen ebenfalls sehr einfach.

Diese Absteckungsmethode war vom Polier und seinen Gehilfen (Pfeiler- und Brückenaxen wurden vom Geometer abgesteckt und versichert) selbständig zu bewältigen und ermöglichte eine Lageüberprüfung der Schalung zu jedem Zeitpunkt der Pfeilererstellung (z.B. nach dem Armieren bzw. vor dem Betonieren; oder während und nach dem Betonieren) ohne grösseren Aufwand. Auch bezüglich Präzision wusste diese Methode zu überzeugen. Beim Pfeiler P2 betrug die maximale Abweichung eines Eckpunkts zur Sollage, auf einer Höhe von 60 m, lediglich 13 mm. Wenn man bedenkt, dass die garantierte



1

Ansicht Pfeiler P2: Pylon und Fahrbahnträger in Arbeit



2

Schalung Fahrbahnträger bereit für Absteckung. Pylonstiel links: Verankerungsstellen Schrägkabel; Pylonstiel rechts: Schalung

absolute Genauigkeit des kontrollierenden Geometers mit 15 mm ebenfalls in dieser Grössenordnung liegt, kann man ruhig von einer Meisterleistung des Poliers sprechen.

Freivorbau

Von Anfang an war klar, dass die Absteckung des Fahrbahnträgers (erstellt im Freivorbau) relativ zum Ausgangspunkt auf dem Querträger des Pfeilerrahmens erfolgen musste. Eine unabhängige Absteckung bezüglich des umliegenden Fixpunktnetzes wäre von vielen, kaum abzuschätzenden Einflüssen gestört worden (Überhöhung Pfeiler; Verschiebung, Verdrehung und Durchbiegung des Fahrbahnträgers infolge Temperatur; prov. Abspannungen usw.).

Ausgehend von vom Geometer etappenweise nachgezogenen Sollpunkten der Fahrbahnaxe ($a = 6\text{ m} = \text{Betonieretappenlänge}$) werden die neuen Absteckungspunkte mittels Winkel und Distanz auf dem Schalboden erstellt. Je zwei abgesteckte Punkte geben die Verlegerichtung

des Trompetenrohrs für das nächste Schrägkabel an. Dabei ist höchste Präzision gefordert, muss doch das Trompetenrohr genau auf die entsprechende Verankerungsstelle am Pylon gerichtet sein. Da das gewählte Schrägkabelsystem keine Anpassung der Kabellängen an die vorhandenen, einbetonierten Verankerungsstellen zulässt, sondern die Kabel auf die theoretische Länge gefertigt auf die Baustelle geliefert werden, ist eine zusätzliche Überprüfung des Abstandes Ankerplatte-Ankerplatte mittels Lasertechnik sinnvoll und beruhigend. Die Neigung der Trompetenrohre muss relativ zum Schalboden eingerichtet werden, da der Fahrbahnträger überhöht gebaut und die Sollaage erst nach erfolgter Endregulierung, nach Einbau von Abdichtung und Belag, erreicht wird.

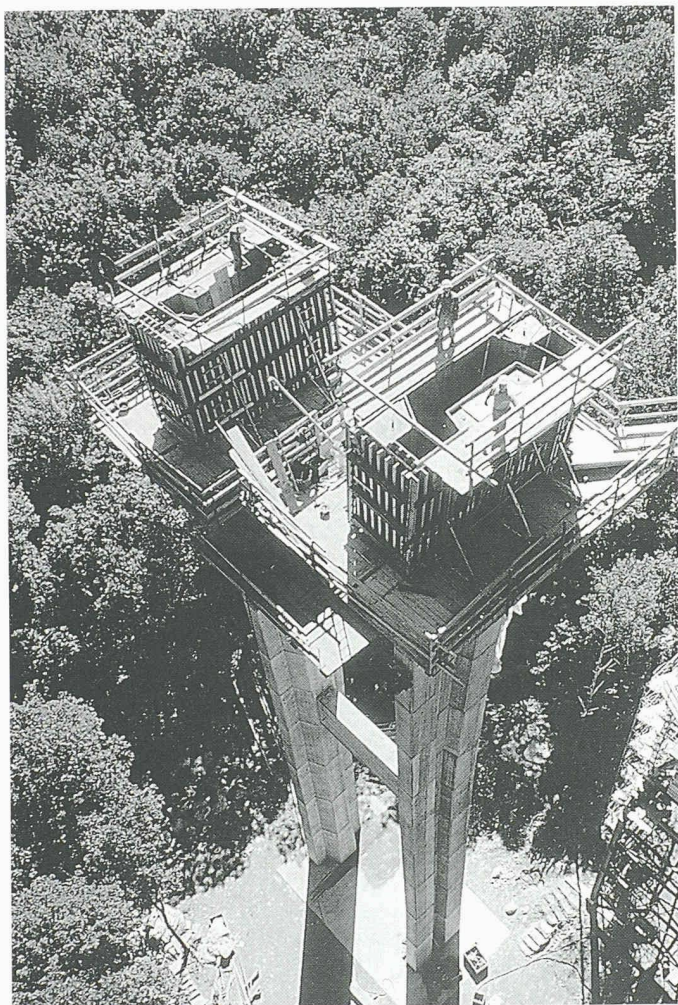
Die erwähnten Bewegungen des Systems infolge Temperatur machten es notwendig, dass die Absteckung der Fahrbahnaxe durch den Geometer immer zur gleichen Tageszeit und möglichst früh am Morgen erfolgen muss. Auswertungen

einer automatischen Messung über mehrere Tage hinweg ergaben im Verlaufe der Erwärmung, bei einer Temperaturamplitude von 12°C und bei einer Auskrugung des Fahrbahnträgers von rund 50 m, eine Verdrehung von etwa 5 mm, eine Verschiebung von mehr als 10 mm und eine Einsenkung des Fahrbahnträgers von knapp 40 mm. Durch die Abkühlung in der Nacht bewegte sich das ganze System wieder gegen die Nullage zu.

Fundationen

Kleinschächte

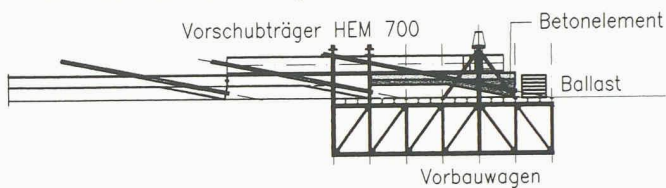
Da die Zufahrtsmöglichkeit zum Pfeiler P1 für eine Bohrpfalmaschine nicht gegeben war, wurden zwei Kleinschächte errichtet. Im Unterfangungsverfahren wurden die beiden Schächte ($\phi = 3,5\text{ m}$) parallel zueinander in Etappen von 1,5 m bis auf 17 bzw. 19 m abgeteuft. Bis zu einer Tiefe von rund 10 m konnte der Aushub mit einem Hydraulikbagger und Greiferverlängerungen bewerkstelligt werden.



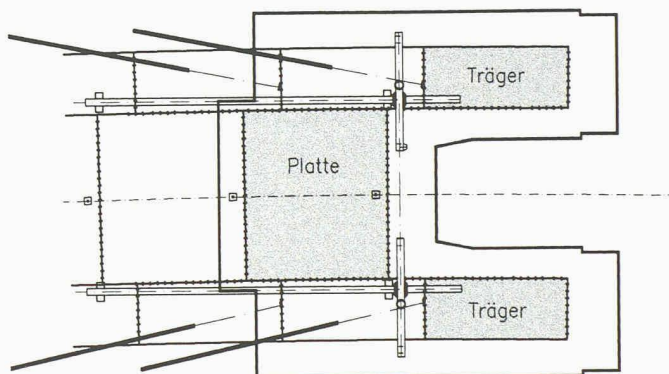
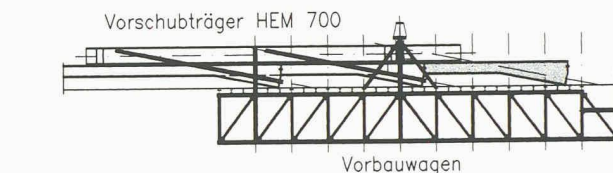
3

Pfeilerschalung: Grundelemente und Schalungseinlagen

Freivorbau: Ausschreibung



Freivorbau: Variante



4

Schema Freivorbauwagen. Oben: Ausschreibung, unten: Variante

Ab dieser Kote kam ein Minibagger zum Einsatz, der das Aushubmaterial in einen Erdkübel lud. Ein Pneukran zog den Kübel hoch und entleerte ihn. Vorhandene Blöcke mussten gespitzt oder gesprengt werden. In einer Tiefe von 15 m drang sehr viel Hangwasser in den bergseitigen Schacht. Ausschwemmungen des lehmigen Erdmaterials waren die Folge. Das anfallende Wasser musste sauber gefasst und in mehreren Stufen abgepumpt werden.

Bohrpfähle

Die Bohrpfähle als Fundation von Pfeiler P2, P3 und P4 (je sechs Stück) wurden im Trockenbohrverfahren mit einem kombinierten Bohr- und Verrohrungsgerät ausgehoben und im Kontraktorverfahren ausbetoniert.

Aufgrund des geologischen Berichts und der Beurteilung der Situation vor Ort musste im Bereich der Fundationen für den Pfeiler P2 mit einem erheblichen Anteil von mittleren bis grossen Felsblöcken gerechnet werden, die sich am Fusse eines

Bergsturzhangs angesammelt hatten. Um zeitaufwendige und kostspielige Meisselarbeiten für das Durchrötern von Felsen und Blöcken zu minimieren, und um Stillstandszeiten der teuren Installationen und Geräte während möglicher Lockerungssprengungen im Bohrrohr zu vermeiden, wurde das sogenannte Presplittingverfahren angewandt. Mit diesem Verfahren werden Fels und Blöcke vor der eigentlichen Herstellung des Bohrpfahls im Bereich des Pfahlumfangs gezielt gesprengt und somit zermürbt und gespalten. Dabei wird als erstes eine Sondierbohrung ($\phi \approx 140 \text{ mm}$), meistens in Pfahlmitte, bis auf die Solltiefe des Grossbohrpfahls erstellt. Mit den Aufschlüssen aus dieser Bohrung werden dann, je nach Art und Anzahl der aufgespürten Blöcke, weitere Kleinbohrungen am Umfang des Grossbohrpfahls angeordnet. Aufgrund der Bohrprotokolle werden die Sprengladungen berechnet, in den mit PVC-Rohren versehenen Bohrlöchern entsprechend angebracht und verzögert gezündet.

Schalung für Pfeiler und Pylon

Die Pfeiler, bestehend aus zwei mit Querholmen verbundenen Stielen sowie die über die Brückenplatte ragenden Pylone weisen einen äusserst komplizierten Querschnitt auf, der sich in Brückenlängsrichtung mit zunehmender Höhe stetig verbreitert. Zudem sind die einzelnen Stiele im obersten Teil des Pfeilers in Brückenquerrichtung zunehmend gegen aussen bis zu einer maximalen Neigung der Pylone von 8:1 geneigt, wodurch an das Schalungskonzept von Pfeiler und Pylon bezüglich Anpassungsfähigkeit, Bedienungs-freundlichkeit, Neigungsverstellbarkeit, Sicherheit, Belastbarkeit und Wirtschaftlichkeit grösste Anforderungen gestellt wurden. Technische und bauterminliche Überlegungen führten zu einer Aufteilung der Pfeiler und Pylone in drei Bereiche mit voneinander unabhängigen Kletterschalungen für jeden Stiel (d.h. 3×2 Schalungen). Schalungspaar 1 und 2 deckten die Pfeilerbereiche «OK Pfahlbankett bis UK

oberer Holm» bzw. «oberer Holm bis UK Querträger» ab. Für den Bereich 3 (Querträger bis OK Pylon) mussten auf der Aussenseite infolge der grossen Vorneigung spezielle Sperrkonsolen angewendet werden.

Die elegante Form der Pfeiler- und Pylonstiele konnte verständlicherweise nicht exakt der vorgegebenen Kurve nachgebaut werden. Mit polygonal erstellten Etappen von rund 4m Höhe ergab sich dennoch ein geschwungenes, abgerundetes Gesamtbild.

Besonderen Augenmerks bedurfte die Konzipierung der eigentlichen Schalung. Dabei war unter anderem auf ein einheitliches Schalungsbild von unten bis oben (Schaltafelstösse, Farbe des Betons), auf eine saubere Ausbildung der Arbeitsfugen (Einlage von Trapezleisten) und auf eine rationelle und schalmaterialschonende Herstellung zu achten.

Die Schalungen bestanden aus vier, ein Rechteck bildenden Grundelementen. Die eigentliche Querschnittsform der Pfeiler- und Pylonstiele wurde mit Schalungseinlagen (massiv ausgebildeten Kisten) erstellt.

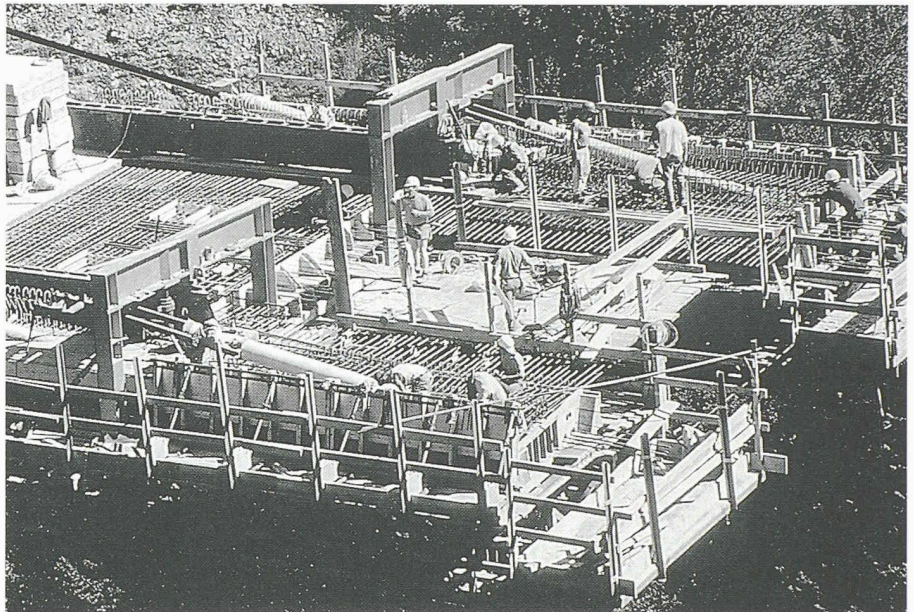
Für die Anpassung der Schalung an die stetig ändernden Abmessungen der Stiele konnten die Schalungseinlagen auf einer Schaltafelgrundbelegung der seitlichen Schalungselemente leicht verschoben und wieder fixiert werden. Dies sparte nicht nur Zeit, sondern vermied ein ständiges Zuschneiden von neuen Schaltafelteilen und deren Einpassen in das Grundelement mit der damit verbundenen Gefahr von unterschiedlichen Betonfärbungen.

Die von Schalungstechnikern erwarteten Probleme beim Binden dieses Schalungskonzepts (ungenügende Vorspannmöglichkeit der Bindstäbe zur Aufnahme der Frischbetondrücke) konnten auf der Baustelle von Beginn an einwandfrei gelöst werden.

Freivorbau

Für die Erstellung des Fahrbahnträgers hatten wir, infolge verschiedener Überlegungen, zusätzlich zur ausgeschriebenen Ausführungsmethode des Freivorbau einen Variantenvorschlag eingereicht, der dann auch ausgeführt wurde.

Ausgeschrieben war das Freivorbau-system in Anlehnung an die Ausführung der Rheinbrücke in Diepoldsau. Dabei wurden nach dem Vorfahren des Wagens die Schrägseile der folgenden Etappe an vorfabrizierten Betonelementen montiert. Das Betonelement und die Wagenkonstruktion wurden auf Zug und Druck miteinander verbunden und vorne an den



5

Armierung Freivorbauetappe. Versetzte Trompetenrohre

Schrägseilen aufgehängt. Um das ganze System in der Sollage zu halten, musste es massiv ballastiert werden. Während des Betonierens war der Ballast sukzessive zu reduzieren, um vertikale Verschiebungen vorne so gering wie möglich zu halten. Das Betonelement wurde in den definitiven Fahrbahnträgerquerschnitt einbetoniert.

Bei der Sunnibergbrücke wäre die oben beschriebene Methode durch die sehr flache Schrägseilanordnung und durch die Krümmung im Grundriss relativ heikel auszuführen gewesen. Bei Längenänderungen der Schrägseile im Bauzustand infolge Temperatur oder zunehmender Last beim Betonieren wären die Bewegungen vorne am Vorbauwagen und damit auch die Winkeländerungen in der Anschlussfuge grösser ausgefallen. Ebenso sind die Druckkräfte im Betonelement grösser, und die Ablenkungskräfte aufgrund der starken horizontalen Krümmung des Fahrbahnträgers müssten ebenfalls in den Anschlussstellen des Betonelementes aufgenommen werden.

Beim Variantenvorschlag wird der Fahrbahnträger-Querschnitt in zwei Teilen betoniert :

- vorne die beiden seitlichen Längsträger
- hinten, um eine Etappe zurückversetzt, die Fahrbahnplatte

Somit erstreckt sich dieser Freivorbauwagen über zwei Betonieretappen hinweg und ist doppelt so lang wie der ausgeschriebene Wagen. Dies ergibt folgende, wesentliche Vorteile:

- das ganze System des Freivorbauwagens ist besser ausbalanciert

- der ganze Wagen kann am bereits betonierten Fahrbahnträger besser eingespannt werden, was geringere Bewegungen in der Anschlussfuge bewirkt
- auf ein vorfabriziertes Element kann verzichtet werden, und somit sind keine Anschlussstellen mehr notwendig, was eine wesentliche Qualitätsverbesserung des Längsträgerquerschnitts bedeutet
- die Schrägkabel müssen erst nach dem Betonieren eine Tragfunktion übernehmen
- auf eine ständige, komplizierte Ballastierung des Vorbauwagens kann grösstenteils verzichtet werden

Selbstverständlich war die Herstellung des Fahrbahnträgers im Wochentakt auch für diesen Variantenvorschlag eine Voraussetzung.

Beton

Bis anhin bezogen wir den Beton für den Bau von Brücken immer von Fertigbetonanlagen. Bestens eingerichtet für die Produktion von qualitativ hochstehendem Beton und infolge grosser Werksdichte immer in der Nähe der Objekte war der Entscheid für den Bezug von Beton ab Fertigbetonwerk sowohl bezüglich Qualität wie auch bezüglich Wirtschaftlichkeit naheliegend.

Entgegen diesen Gewohnheiten haben wir uns beim Bau der Sunnibergbrücke erstmals für die Herstellung von Beton auf der Baustelle mit einer Ortbe-

tonanlage entschieden. Die grösstmögliche Qualität des Betons und eine grössere Flexibilität und Effizienz der Baustelle waren für diesen Entschluss massgebend.

Die durchschnittlichen Frisch- bzw. Festbetonwerte betragen (nach ca. $\frac{3}{4}$ verbauter Betonmenge):

	Pfeiler	Pylone Fahrbahnträger
Walz	1,15	1,13
Dichte [kg/m ³]	2440	2450
W/B	0,42	0,42
Luftporen [%]	3,0	3,0
$f_{cw\ 3}$ [N/mm ²]	-	43
$f_{cw\ 28}$ [N/mm ²]	54	64

Die Transportzeit für Fertigbeton ab dem nächstgelegenen Werk hätte eine halbe bis dreiviertel Stunden betragen, was für einen qualitativ hochstehenden Beton, wie er im Brückenbau verwendet wird, schon bei normalen äusseren Bedingungen zu lange ist.

Selbstverständlich konnte nicht irgendeine Betonanlage erstellt werden, sondern die Anlage musste einige wesentliche Bedingungen erfüllen:

- Steuerung der Anlage mit Mikroprozessoren
- Ausdruck von Chargenprotokollen
- Dosiermöglichkeit von mindestens drei Zusatzmitteln
- Vierkomponenten-Kiessilo
- Feuchtemesssonde für die relevanten Zuschlagstoffkomponenten
- Winterbetrieb, d.h. Kiessiloheizung, Warmwasseraufbereitung
- Feinwasserdosierung

Die Projektanforderungen an die wichtigen Betone betragen B 45/35, F, CEM I 42.5 325 kg/m³ für die Pfeiler und B 45/35, F, CEM I 42.5 325 kg/m³ + 15 kg/m³ Microsilica für die Pylone und den Fahrbahnträger.

Für eine qualitativ und terminlich optimale Ausführung, insbesondere für den Freivorbautakt des Fahrbahnträgers, ergaben sich weitere Anforderungen an den

Frisch- bzw. an den Festbeton: Gute Verarbeitbarkeit bei niedrigem W/B-Wert, lange Offenzeit, hohe Frühfestigkeiten (Wochentakt Freivorbau) und genügend Festigkeitsreserven.

Infolge unserer Erfahrungen mit microsilicavergütetem Beton haben wir auch hier Zement mit bereits dazu gemahlener, entsprechend dosierter Microsilicamenge verwendet. Dies hat vor allem eine optimale Durchmischung des Microsilica im Beton und somit eine verbesserte Qualität, im Gegensatz zur Zugabe zu einem späteren Zeitpunkt (in Mischer der Betonanlage, in Fahrmascher), zur Folge.

Adresse des Verfassers:

Beat Rietmann, dipl. Ing. ETH, Preiswerk & Cie AG, 7249 Serneus