

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 95 (1977)
Heft: 21

Artikel: Das Vorschubgerüst für den Viaduc du lac de la Gruyère
Autor: Bosshard, Ernst / Senft, Ernst / Glocker, Walter
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-73376>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 08.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Das Vorschubgerüst für den Viaduc du lac de la Gruyère

Von Ernst Bosshard, Zürich, Ernst Senft., Bern und Walter Glocker, Zürich

Für den Bau des Viaduc du lac de la Gruyère wird ein Vorschubgerüst verwendet, das sich von bisher bekannten Konstruktionen in mehrfacher Hinsicht unterscheidet. Es wurde speziell für die 2000 m lange Autobahnbrücke am Gruyersee entwickelt. Investitionen in das Gerät, die weitere Einsätze erleichtern würden, hat man bewusst unterlassen. Dieses Vorgehen hat interessante unternehmerische Aspekte aufzuweisen. Im Vorschubgerüst am Gruyersee sind Vorteile von untenliegenden und von obenliegenden Gerüstsystemen vereint. Es verfügt über ein neuartiges, leistungsfähiges Aussenschalungssystem, und es ist unabhängig von Bodentransporten.

Technische Daten

Der Viaduc du lac de la Gruyère ist im Bereich der Autobahn N12 zwischen Bern und Vevey mit einer Länge von 2000 m das bedeutendste Brückenbauwerk. In einer langgezogenen S-Kurve führt er dem Gruyersee entlang und überquert dabei zwei tief eingeschnittene Seearme.

Der Kanton Freiburg als Bauherr, vertreten durch das Département des Travaux Publics, Bureau des Autoroutes, hat Projekt und Ausführung auf Grund des Ergebnisses eines Submissionswettbewerbes vergeben. Beim Ausführungsprojekt handelt es sich um den Brückentyp mit schmalem, zentralem Kasten und weitausladenden Kragplatten für die ganze vierspurige Autobahnbreite (Bild 1). Ähnliche Brücken sind in der Schweiz schon mehrfach ausgeführt worden und weisen folgende Vorteile auf:

- Die einzige Stützenreihe wirkt ästhetisch vorteilhaft
- Herstellung eines relativ leichten, schmalen Brückenkastens auf einem Lehrgerüst oder Vorschubgerüst
- Herstellung der Fahrbahnkragplatten mit einem nachlaufenden «Flügelgerüst» in kurzen Etappen, mit geringen Gerüstinvestitionen und günstiger Taktleistung.

Der Viaduc du lac de la Gruyère weist alle 5,04 m eine Querrippe auf, welche die weitausladenden Fahrbahnplatten ($d = 22$ cm) trägt. Diese Konstruktion ist materialsparend; hingegen führen die Rippen im Brückenkasten zu erhöhten Schalarbeiten.

Technische Daten des Viaduc du lac de la Gruyère:

Spannweiten:	62,61 m – 32 × 60,48 m – 45,78 m
Länge:	2043,75 m
Stützenhöhen:	bis 75 m
Gewicht des Brückenkastens ohne Kragplatten:	Feld: 9,5 t/m' Stütze: 14,0–15,0 t/m'
Längsgefälle:	0,5% im Baufortschritt steigend
Quergefälle:	–5% bis +6%

Der Grundriss der Brücke ist S-förmig, mit minimalen Radien von 1300 m auf die eine und 900 m auf die andere Seite (Bild 2). Die Pfeilerbaustellen sind teilweise nur mit Kabelkran oder vom Wasser aus erreichbar. Ein konventionelles Lehrgerüst kam deshalb nicht in Frage.

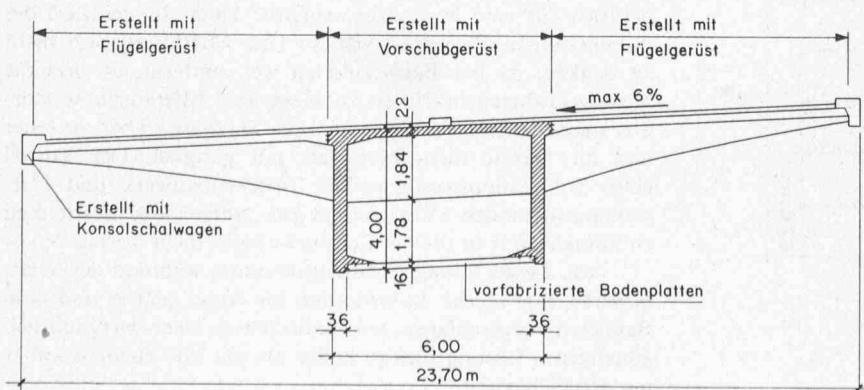
Der Brückenkasten wird mit dem nachfolgend beschriebenen Vorschubgerüst im Drei-Wochen-Rhythmus erstellt. Die beidseitig 8,50 m' auskragende Rippenplatte entsteht mit Hilfe eines sogenannten «Flügelgerüsts», das dem Vorschubgerüst in ca. 250 m Abstand mit gleicher Geschwindigkeit folgt, wobei in drei Wochen sechs Etappen zu 10 m auszuführen sind. Die Konsolköpfe werden mit Schalwagen an Ort betoniert.

Die Überlegungen zur Wahl des Vorschubgerüsts

Ein Vorschubgerüst ermöglicht den feldweisen Bau einer vorgespannten Ort betonbrücke im Taktverfahren. Da solche Gerüste im allgemeinen nur für längere Brücken in Betracht kommen, d.h. für eine grössere Zahl von Takten, sind kurze Taktzeiten erforderlich, um vernünftige Bauzeiten zu erhalten. Unter der Voraussetzung, der ganze Brückenquerschnitt werde in einem Guss betoniert, sind Zwei-Wochen-Takte erreichbar.

Der Brückenkasten des Viaduc du lac de la Gruyère muss, von der Querschnittsgestaltung her, in zwei Etappen betoniert werden. In diesem Fall ist minimal mit einem Drei-Wochen-Takt zu rechnen.

Bild 1. Brückenquerschnitt im Feld



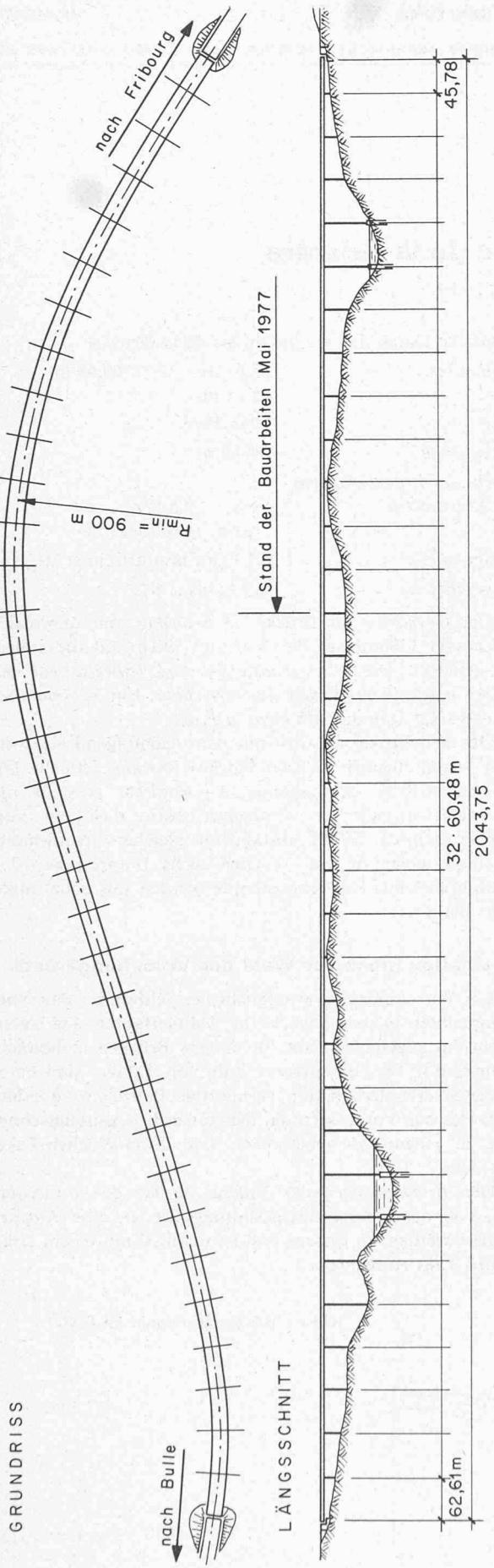


Bild 2. Längsschnitt und Grundriss der Brücke

An ein Vorschubgerüst werden innerhalb eines Arbeits-
taktes vielfältige Anforderungen gestellt:

- Im Betonierzustand hat es die Lasten auf den Kragarm der vorangehenden Überbauetappe und auf den Pfeiler abzu-
tragen
- Das Gerüst muss sich nach dem Vorspannen der erstellten Brückenetappe absenken lassen. Die Schalungen sollen sich dabei ohne Beschädigung vom Beton lösen
- Die Aussenschalungen sind seitlich zu verschieben oder wegzuklappen, damit die Lichträume für die Vorbeifahrt an Pfeiler und Brückenüberbau – auch in Kurven – genügen
- Das Gerüst muss sich vorwärtsbewegen lassen, und zwar mit dem Schwerpunkt so, dass immer genügend Kippsicherheit besteht
- Für Kurvenfahrt muss es querverschiebbar sein
- Die Schalungen müssen sich für Kurvenüberhöhungen und Quergefälle des Überbaues einstellen lassen
- Der Arbeitsraum soll frei von Behinderungen sein, und die Krananlagen sollen wenn möglich die ganze eingeschaltete Fläche bestreichen
- In einzelnen Fällen, wie für den Viaduc du lac de la Gruyère, ist es unbedingt nötig, den Vorschub unabhängig von Bodentransporten auszuführen.

Alle diese Funktionen und Manipulationen sind in einem Gerät zu integrieren. Die Priorität liegt auf Leistung bzw. Einhaltung der Taktzeiten. Konstruktive Belange haben sich, soweit technisch möglich, betrieblichen Anforderungen unterzuordnen.

In der Wettbewerbsphase wurden von der Arbeitsgemeinschaft folgende Möglichkeiten zur Beschaffung eines Vorschubgerüstes geprüft:

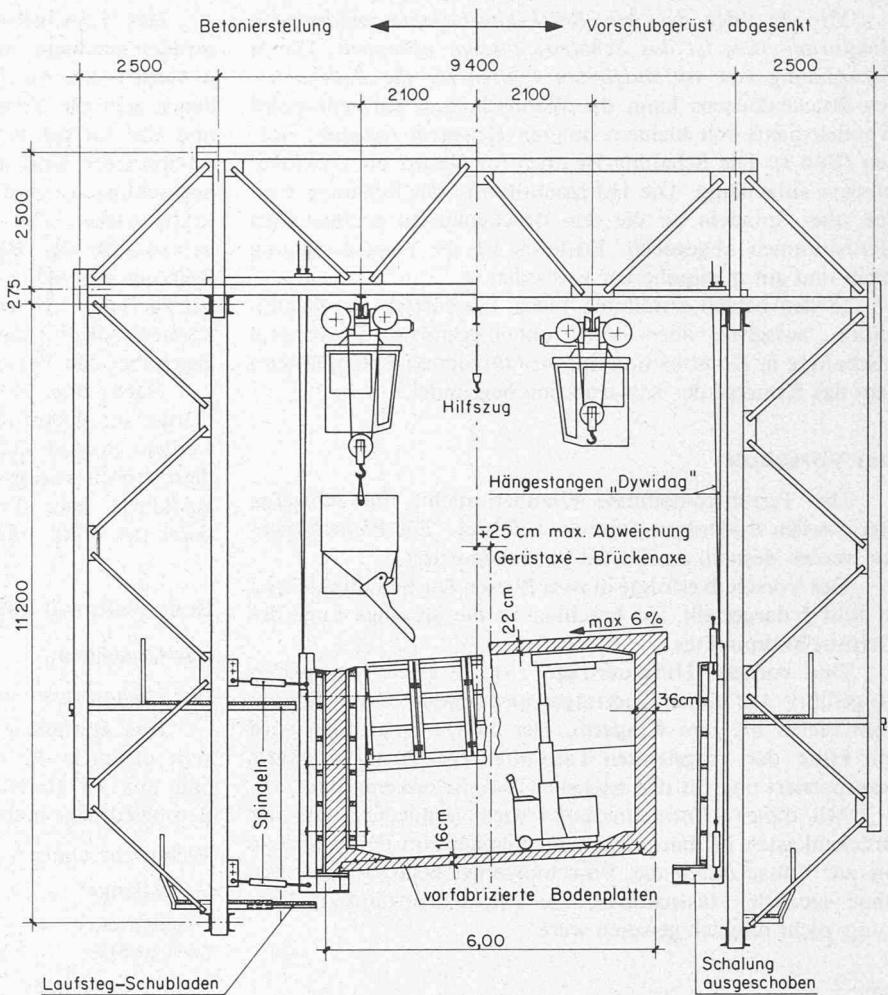
- Herstellung einer eigenen Konstruktion
- Kauf eines erprobten Gerüsttyps (Lizenz)
- Miete eines Gerüsts.

Der *Kauf bzw. die Herstellung* eines bewährten Gerüsttyps in Lizenz ist für einen Unternehmer, technisch gesehen, die *problemloseste Beschaffungsart*. Weniger gut dürften die Aussichten für die *Abschreibung* einer solchen Investition sein, da diese Gerüsttypen in der Regel für eine mehrfache Verwendung konzipiert und damit teuer in der Anschaffung sind. Bei manchen handelt es sich um Baukastensysteme, die einerseits eine relativ grosse Bandbreite von Verwendungsmöglichkeiten, anderseits erhöhte Anschaffungskosten mit verstärktem Zwang zu Mehrfacheinsätzen aufweisen. Die Schweiz weist keinen nennenswerten Markt an Brücken auf, die für Vorschubgerüste geeignet oder gar prädestiniert wären. Auch wird der Mehrfacheinsatz beträchtlich eingeschränkt durch die Tatsache, dass ein bestimmtes Gerät nur für einen eingegrenzten Spannweitenbereich verwendbar ist. Eigenschaften, wie Bauhöhe des Gerüsts, Querschnittsform der geplanten Brücke, Kurvenradien usw. engen die Einsatzmöglichkeiten zusätzlich ein.

Aus den gleichen Gründen ist die Auswahl an *Mietgerüsten* für eine bestimmte Aufgabe klein. In der Zeit des Submissionswettbewerbes war an eine Mietreservation nicht zu denken, da der Baubeginn zu weit entfernt lag und die Auftragswahrscheinlichkeit zu klein war. Mietangebote wurden nach Auftragerteilung geprüft. Sie waren aber zu teuer und die Geräte nicht besonders gut geeignet. Der Vorteil eines Submissionswettbewerbes, Brückenbauwerk und Herstellungsmethoden (Vorschubgerüst) aufeinander abstimmen zu können, war in diesem Zeitpunkt nicht mehr vorhanden.

Aus diesen Erwägungen wurde schon während des Wettbewerbs eine *eigene Konstruktion* ins Auge gefasst und dem Bauherrn vorgeschlagen, was natürlich zu einer wirtschaftlich günstigeren Lösung führen sollte als mit den zuvor erwähnten Möglichkeiten.

Bild 3. Gerüstquerschnitt im Feld



Die nachstehenden Überlegungen haben zu einer *erfolgreichen Lösung* dieses Vorhabens geführt:

- ein Konzept nur für den Viaduc du lac de la Gruyère, mit voller Ausnützung der Tragfähigkeit und der Geometrie
- der Verzicht auf jede konstruktive Massnahme, welche die Wiederverwendung, bzw. Demontage und Wiedermontage erleichtern würde
- die Verwendung von vorfabrizierten Betonplatten für den Boden des Brückenkastens und dadurch Einsparung der aufwendigen Untersichtschalung
- nach Entfernung wertvoller mechanischer Teile: Abbruch des Gerüsts und damit Einsparung der Kosten für sorgfältige Demontage, Rücktransport, Entrostung, Rostschutz, geordnete Einlagerung, Verzinsung usw.
- das geringe Gewicht des Gerüsts hat einen günstigen Einfluss auf die Bauzustände der Brücke.

Das Konzept

Die bekannten Vorschubgerüste können, sehr vereinfacht dargestellt, in zwei Gruppen eingeteilt werden:

Untenliegende Gerüste mit aufgesetzter Schalung. Sie laufen auf Stützkonstruktionen, die an den Brückenpfeilern befestigt sind. Vorzug: Sie belasten die Brückenetappe beim Vorfahren nicht.

Obenliegende Gerüste mit aufgehängter Schalung. Siestützen sich bei der Vorfahrt auf der Brückenetappe ab. Bei Brückenspannweiten von 60 m und mehr werden sie aus folgenden Gründen vorgezogen:

- Am Gerüst können Laufkatzenkrane für die Materialtransporte aufgehängt werden
- Der Kragarm der letzten Brückenetappe kann dem Vorschub nutzbar gemacht werden und reduziert die maximale Auskragung zum nächsten Pfeiler; die obenliegenden Gerüste werden damit in der Regel kürzer
- Man ist frei in der Bauhöhe und kann Fachwerke einsetzen.
- Man kann ohne grossen Aufwand die Arbeitsfläche überdachen.

Obenliegende Gerüste müssen sich mit einer besonderen Vorrichtung auf dem Pfeilerkopf oder auf dem vorgängig erstellten Pfeilerquerträger abstützen, wenn sie auf den Pfeiler der nächsten Etappe vorfahren, was zu einer komplizierten Herstellung des Pfeilerquerträgers führt. Diese Abstützvorrichtung behindert den Materialfluss in den Kragarm. In dieser Beziehung sind die untenliegenden Gerüste einfacher, die einfaches Schalen und Betonieren des Pfeilerquerträgers im Zuge der Taktarbeit gestatten.

Für das Gerüst des Viaduc du lac de la Gruyère wurde ein Konzept erarbeitet, das die Vorteile unten- und obenliegender Gerüste vereinigt. Die Untergurte des Haupttragwerkes liegen rd. 1,50 m unter dem Brückenkasten. Obergurte und Windverband liegen so hoch, dass Transportanlagen und eine Überdachung eingebaut werden können. – So entsteht ein *Haupttragwerk, das den Brückenquerschnitt seitlich umfasst*. Auf dem vordern Pfeiler stützt sich das Gerüst auf Pfeilerkonsolen ab, und es lässt sich darauf verschieben wie ein untenliegendes Gerüst, während es sich auf der Brückenetappe wie ein obenliegendes Gerüst bewegen lässt.

Mit der Idee des den Brückenquerschnitt umfassenden Haupttragwerkes ist das Schalungskonzept gekoppelt. Durch Verwendung von vorfabrizierten Platten für die Bodenplatte des Brückenkastens kann die Wandschalung auf senkrechte Wandelemente mit kleinem unteren Kragarm reduziert werden (Bild 3). Die Schalung ist oben im Gerüst an Dywidagstangen aufgehängt. Die Horizontalkräfte der Schalung werden über Spindeln an die den Brückenkasten umfassenden Gerüstrahmen abgegeben. Dadurch ist die Aussenschalung leicht und gut manipulierbar geworden.

In den beiden erwähnten Ideen «Gerüsttyp als Kombination zwischen oben- und untenliegendem Typ» und «Schalung in Kombination mit vorfabrizierten Betonplatten» liegt das Konzept der Konstruktion begründet.

Der Vorschub

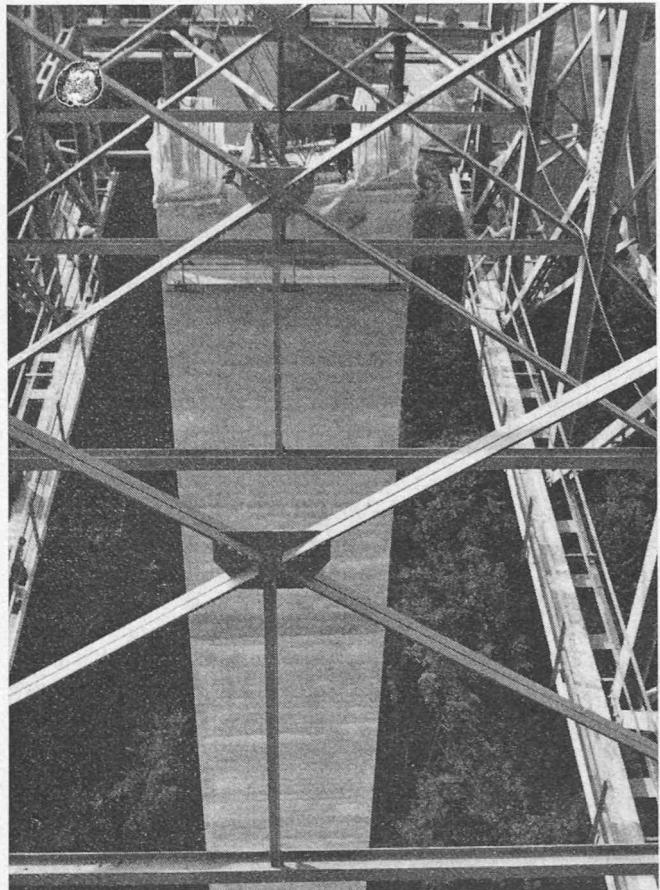
Die Terrainverhältnisse erlauben nicht, mit schweren Gerüstteilen Bodentransporte auszuführen. Die Pfeilerkonsole werden deshalb am Gerüst vortransportiert.

Der Vorschub erfolgte in zwei Phasen. Die Schubtakte sind in Bild 5 dargestellt. Zu beachten ist die jeweilige Lage des Gerüstschrumpfungspunktes.

Der vordere Hilfsquerträger ist in zwei Exemplaren ausgeführt. Auf einem Querträger wird jeweils 10 m gefahren, vom Pfeiler bis zum Kragarm. Der andere Querträger wird mit Hilfe der eingebauten Laufkatzenkrane 20 m rückwärts transportiert und für den nächsten 10-m-Schub eingebaut.

Mit dieser «Überrolltechnik» wird vermieden, dass der Brückenkasten im Bauzustand im Bereich von der Feldmitte bis zur Stütze durch das Vorschubgerüst belastet wird, was ohne spezielle Massnahmen, wie z.B. Bauzustandsvorspannung, nicht möglich gewesen wäre.

Bild 4. Gerüstspitze



Das Vorschieben des Gerüsts auf schweren Kranbahnenprofilen geschieht mit Hilfe von je zwei hydraulischen Pressen je Gerüstseite. An die Schienen sind Nocken geschweißt, an denen sich die Vorschubpressen mit Klapphaken einhängen und das Gerüst in 1,50-m-Schüben vorschieben. Die Vorschubpressen sind kommunizierend an der Hydraulikanlage angeschlossen, so dass auf beide Seiten die gleichen Stoßkräfte wirken. Die gerechneten und gemessenen Stoßkräfte betragen in der Regel zweimal 20–22 Tonnen, was einer Reibung von 6,5% entspricht. Die Vorschubgeschwindigkeit beträgt einen Meter je Minute. Zum Befahren der Kurven können sowohl die vorderen wie der hintere Querträger gegenüber den Vorschubschienen querverschoben werden.

Nach einer Anlernzeit für alle Beteiligten kann das Gerüst im 900-m-Radius in 11 Arbeitsstunden verschoben werden. Sobald sich die Brücke der Geraden nähert, wird diese Arbeit voraussichtlich im normalen 9½-Stunden-Tag ausführbar sein. In dieser Zeit ist das Lösen und Wiedermanövrieren der Wind- und Längsverankerungen inbegriﬀen.

Beschreibung des Gerüsts

Das Grundgerät

Das Haupttragsystem

Das Haupttragsystem besteht aus zwei K-Fachwerkträgern, einem in der oberen Gurtebene liegenden Windverband und aus 19 Querrahmen, die den Brückenkasten auf der Betonierstrecke halbrahmenförmig umfassen.

Technische Daten:

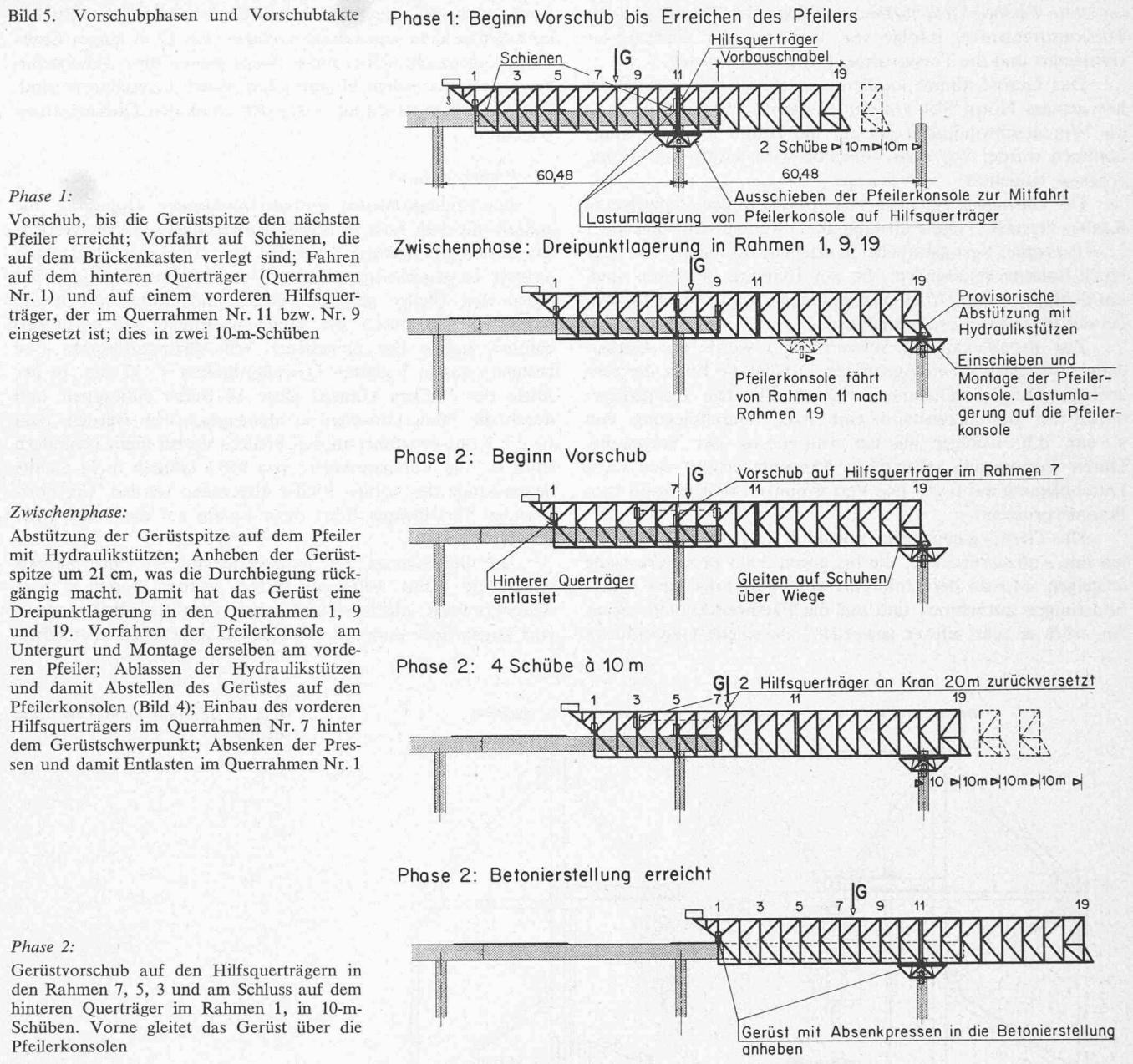
Gerüstlänge:	100,0 m
Gerüstbreite:	Hauptträger: 9,40 m; über alles: 14,40 m
Gerüsthöhe:	14,0 m, Systemhöhe: 11,20 m
Rahmenabstände:	5,04–5,25 m
Gewicht:	Stahl ohne Schalung, ohne Unterstützungsstrukturen, 353 t
Windverband:	Rhombenfachwerk. Die Gurtungen fallen mit dem Fachwerkobergurt zusammen h = 9,40 m

Das K-Fachwerk erlaubt das Ansetzen von Längskräften in den K-Punkten. Solche Längskräfte sind beim Vorschub in die Rahmen 11, 9, 7, 5, 3 und 1 einzuführen. Am hinteren Querträger wird das Gerüst in Längsrichtung für den Betonierzustand für Kräfte von 2×42 t verankert.

Das K-Fachwerk weist geringere Knicklängen auf als das Strebenfachwerk, was besonders wichtig ist, weil viele Stäbe Zug-Druck-Bbeanspruchungen aufweisen (Bild 6).

Beim statischen System handelt es sich um eine Trogbrücke mit zwei Hauptträgern, einem Windverband und n Querverbänden. Der Windverband liegt oben. Das System ist hinten (Rahmen 1) im K-Punkt, vorn auf Höhe des Untergurtes (Pfeilerkonsole) gelagert. Die Trogbrücke ist somit auf den Kopf gestellt. Dieses System ist in statischer Hinsicht zur Aufnahme von seitlichen Kräften (Wind) nicht optimal. Die Windkräfte müssen in den Windverband hinauf und beim vorderen Auflager (Rahmen 11) wieder 11,2 m hinuntergeleitet werden. Dies ist nicht möglich, ohne dass der Untergurt im Bereich des vorderen Auflagers (im Betonierzustand Querrahmen 11) sekundäre Biegung aufzunehmen hat. Es handelt sich hier um eine Inkongruenz statisch-konstruktiver Art, die zugunsten betrieblicher Notwendigkeiten in Kauf genommen wurde. Das System ist als torsionsweiches System statisch bestimmt gelagert. Um zu verhindern, dass infolge der extrem hohen Windverbandslage der grosse Kragarm vom Wind in Torsionsschwingungen versetzt wird, hat man das

Bild 5. Vorschubphasen und Vorschubtakte



Phase 2:

Gerüstvorschub auf den Hilfsquerträgern in den Rahmen 7, 5, 3 und am Schluss auf dem hinteren Querträger im Rahmen 1, in 10-m-Schüben. Vorne gleitet das Gerüst über die Pfeilerkonsole

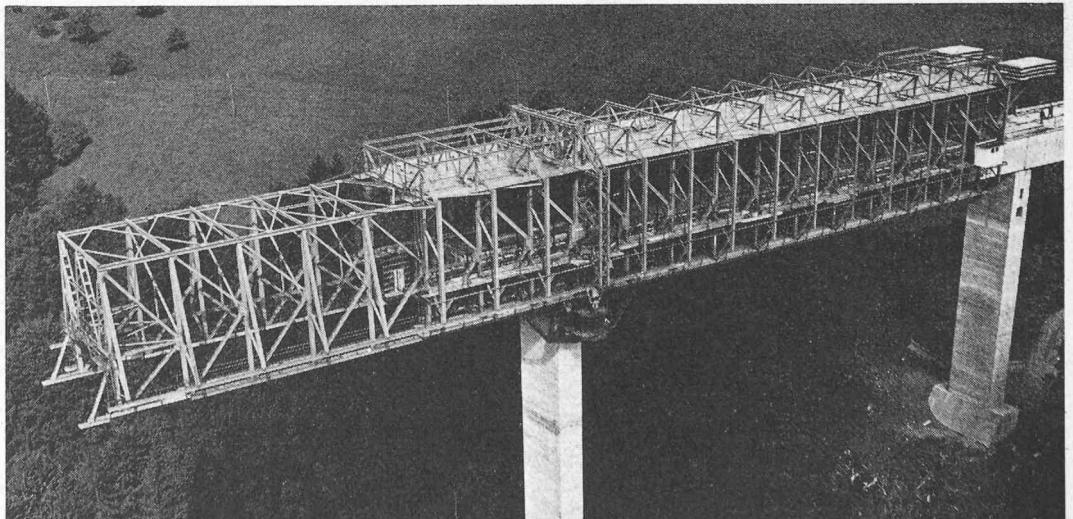


Bild 6. Gerüstansicht in Betonierphase

vorderste Fachwerkfeld torsionssteif gemacht. Damit sind die Torsionsdrehwinkel infolge von Wind an der Gerüstspitze verkleinert und die Torsionsfrequenz erhöht worden.

Das Gerüst nimmt im Betonierzustand die volle Windlast gemäss Norm SIA 160 auf, während für den Vorschub die Windgeschwindigkeit als auf die Hälfte reduziert angenommen wurde. Vor dem Vorschub wird jeweils eine *Windprognose* eingeholt.

Die *Gurtungen* bestehen aus J-NP-Profilen, teilweise zu Kasten verstärkt. Die Füllstäbe sind Breitflanschprofile oder J-NP-Profile. Fast sämtliche Baustellenstösse sind HV- oder Huck-Bolzenverbindungen, die auf Reibung bemessen sind, um Schlupf in Zug-Druck-Verbindungen beim Vorschub bzw. bei der Betonierung zu vermeiden.

Zur *Regulierung des Schwerpunktes* wurde am Gerüstende ein *Gegengewicht* angeordnet. Dies ist die Folge der sehr leichtgewichtigen Schalungen (50 t Stahl). Die Hauptträger haben im Betonierzustand eine max. Durchbiegung von 4,5 cm, d.h. weniger als ein Tausendstel der Stützweite. Durch Verformung sekundärer Elemente erhöht sich diese Durchbiegung auf 6 cm. Die Verformungen stellen somit kein Betonierproblem.

Das Gerüst gleitet beim Vorschub über die Pfeilerkonsolen mit Auflagerdrücken, die bis gegen 200 t pro Gerüstseite ansteigen. Müsste der Untergurt des Fachwerks diese Querbelastungen aufnehmen und auf die Fachwerknoten verteilen, wäre er sehr schwer geworden. Da solche Gewichte im

Gerüstvorderteil unerwünscht waren, wurde an den Pfeilerkonsolen je eine sogenannte «Wiege», ein 12 m langes Fachwerk, angebracht. Über diese Wiege gleiten die «Teflonschuhe», die unter jedem Hauptträgerpfosten angeschraubt sind. Der Untergurt ist damit von jeder vertikalen Querbelastung verschont.

Die Pfeilerkonsolen

Die Pfeilerkonsolen sind *dreieckförmige Tragwerke*. Sie greifen mit dem Fuss in Pfeileraussparungen, um die vertikalen Lasten abzugeben. Oben auf der Höhe des Querriegels werden sie gegenseitig mit zwei Vorspanneinheiten mit 550 t gegen den Pfeiler gepresst. Diese sind mitten durch die Konsolen und durch die Pfeiler (spezielle Aussparungen) geführt, haben fest eingebaute VSL-Vorspannpressen und bestehen aus je 7 glatten Dywidag-Stäben Ø 32 mm. In der Mitte des Pfeilers können diese 14 Stäbe entkuppelt und durch die Pfeilerkonsolen so hinausgeschoben werden, dass sie die Konsole vorfahrt an den Pfeilern vorbei nicht behindern (Bild 7). Die Vorspannkräfte von 550 t können nicht an die Seitenwände der hohen Pfeiler abgegeben werden. Ein horizontaler Verteilträger führt diese Kräfte auf die Pfeilerquerwände.

Die Gerüstlasten, im Betonierzustand 540 t pro Gerüstseite ohne Wind, 650 t mit Wind, werden durch je zwei Absenkpressen, die links und rechts vom Hauptträgeruntergurt angeordnet sind, auf die Konsole abgegeben. Der Ober-

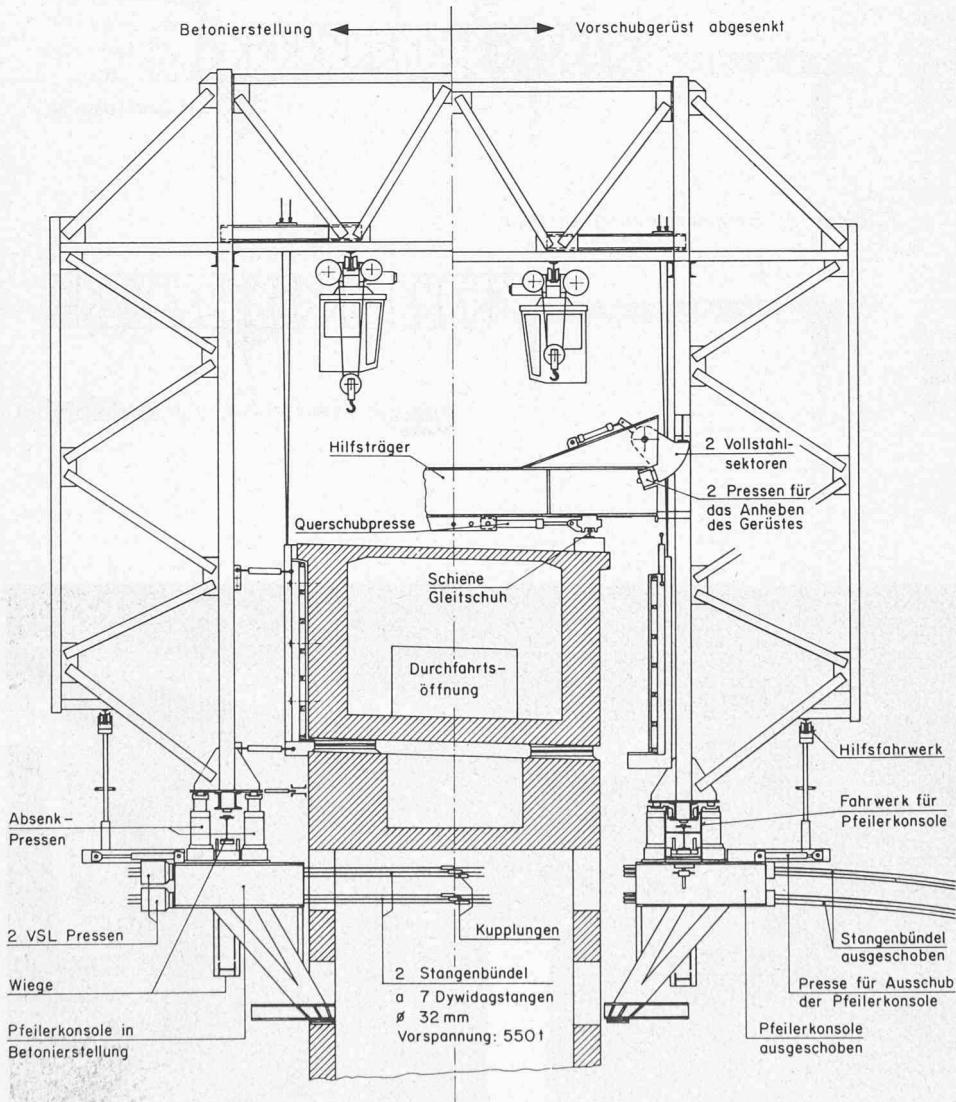


Bild 7. Gerüstquerschnitt über dem Pfeiler

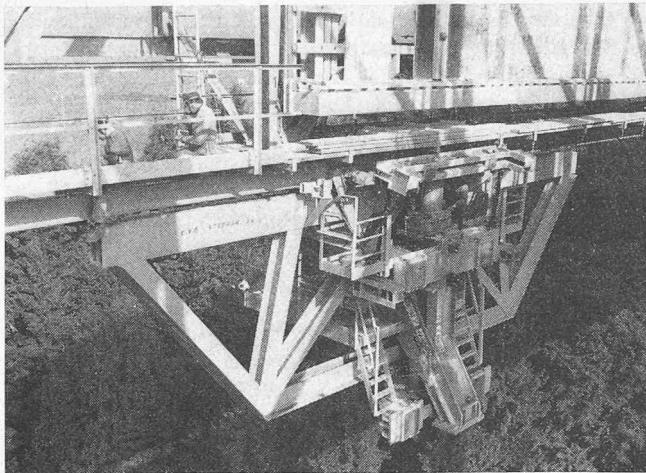


Bild 8. Pfeilerkonsole mit Wiege in Vorfahrt

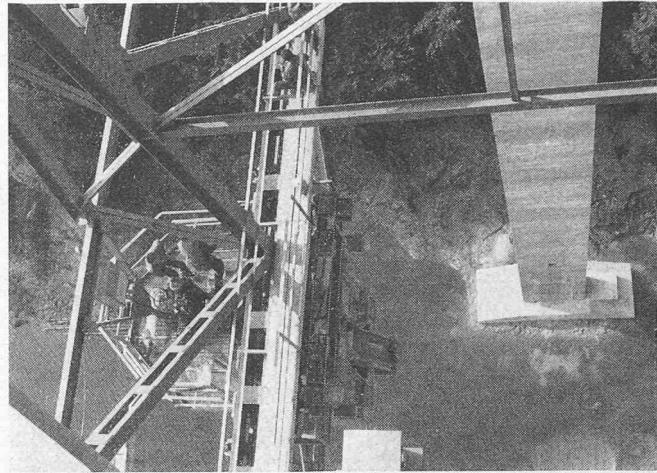


Bild 9. Pfeilerkonsole in Vorfahrt

gurt der bereits erwähnten Wiege ist zwischen den Absenkpressen auf dem Querriegel der Pfeilerkonsole gelagert. Den Namen «Wiege» hat sie bekommen, weil sie in einem Zapfenlager wippen kann und sich den Auflagerdrehwinkeln des Gerüsts während der Vorfahrt anpassen kann. Für die Kurvenfahrt kann sie sich auch um eine Stehachse drehen.

Wie bereits erwähnt und in Bild 7 dargestellt, kann die Pfeilerkonsole am JI-Untergurtprofil des Hauptträgers und an einem Hilfssträger in Hängefahrwerken vorgefahren werden. Das äussere Hilfsfahrwerk hält die Konsole in horizontaler Lage (Bild 8 und 9). Das gesamte Gewicht der Konsole von 28 t hängt in zwei 8rädrigen, motorgetriebenen Fahrwerken am Hauptträgergurt. Damit die Konsolen vorfahren können, sind folgende Operationen notwendig:

- Entlasten der Konsolen
- Lösen der Vorspanneinheiten
- leichtes Anheben der Konsolen
- Ausschieben der Konsolen aus den Pfeilernischen (die Konsolen hängen in Fahrwerken).

Das Entlasten und leichte Anheben geschieht mit dem vorderen Hilfsquerträger, nachdem er am Vorschubtag im Rahmen 11 eingebaut worden ist. Das Ausschieben geschieht mit Hilfe einer Querschubpresse. Die *Pfeilerkonsolen sind die konstruktiv anspruchsvollsten Elemente des Gerüsts*. Die Probleme lagen im Zusammenspiel von Konstruktion und Mechanik, sowie in der Schweißtechnik im Zusammenhang mit der Zugänglichkeit der Schweissreihenfolge und den Blechstärken. Die weiteren Anforderungen an die Konsolen sind im folgenden nur noch kurz erwähnt:

- Aufnahme von Exzentrizitäten infolge der Horizontalkrümmung der Brücke (Brückenachse und Gerüstachse decken sich nicht)
- Überleiten von grossen Windkräften (max. 107 t) auf den Pfeiler, ohne die Absenkpressen horizontal zu beanspruchen
- Längsverschiebbarkeit des Gerüsts auf der Konsole bei kurzen (harten) Pfeilern. Das Gerüst ist im Betonierzustand hinten im Rahmen 1 an der letzten Brückenetappe längsverankert
- Halten der hohen (weichen) Pfeiler in Längsrichtung (Windkräfte auf Pfeiler und Rückstellkräfte infolge der Längsbewegungen des Gerüsts)
- Nach dem Vorschub: Rückzug von weichen, durch Reibungskräfte ausgebogenen Pfeilern (theoretisch bis zu 15 cm).

Der hintere Querträger

Der hintere Querträger ist im K-Punkt biegesteif mit dem Rahmen 1 verbunden, so dass ein geschlossener Rahmen entsteht. Die Bauhöhe musste niedrig gehalten werden (Überfahrt der Baumaterialien). Der Vollwandträger hat einen Hutprofilquerschnitt. Zwischen den beiden Trägerstegen sind die Absenkpressen, auf dem Kopf stehend, angeordnet. Sie übertragen sowohl im Betonierzustand wie beim Vorschub die hinteren Auflagerlasten auf Schienen. Mit der Querschubpresse lässt sich der Querträger über die Absenkpressen hinweg ziehen (+100 cm). Die Querschubpresse (+40 t) übernimmt die Windkräfte im Betonier- und im Vorschubzustand.

Die Hilfsquerträger

Die zwei gleichartigen Hilfsquerträger werden nur an den Vorschubtagen verwendet; sonst sind sie am Brückendecke parkiert. Mit der bereits beschriebenen «Überrolltechnik» befördern sie auf Schienen gleitend das Gerüst in 10-m-Etappen nach vorn. Die max. Gerüstlasten betragen dabei 290 t je Seite. Die Träger sind auf *Gleitschuhen* gelagert, an denen die *Vorschubpressen* angreifen. Ein Teil der Stosskräfte von max. 2×30 t muss durch die Querträger auf das Gerüst geleitet werden; dabei handelt es sich im wesentlichen um Reibungskräfte. Die schnell zu lösenden Verbindungen zwischen dem Hilfsquerträger und dem Gerüst müssen somit Vertikalkräfte, Längskräfte und Kräfte quer zum Gerüst (Wind) übertragen. Zudem muss das Gerüst um einige Zentimeter gehoben werden, damit die Lastumlagerung von einem Hilfsquerträger zum anderen möglich ist und damit die Pfeilerkonsolen aus den Pfeilernischen gehoben werden können (Bild 10).

Die Gerüstlast wird von je zwei Vollstahlsektoren ($d = 60$ mm) je Querträgerseite aufgenommen (siehe Bild 7), die beidseits der Gerüstposten unter Konsolen greifen. Beide Sektoren werden von je einer hydraulischen Presse (Kapazität je 175 t) hochgestossen; diese sind kommunizierend verbunden und garantieren damit eine zentrische Krafteinleitung in die Gerüstposten. Die Sektoren können so weit in den Hilfsquerträger eingezogen werden, dass dieser für den Längstransport auf jeder Seite 35 cm Spiel gegen das Gerüst aufweist. Die Längskräfte werden im K-Punkt des Gerüsts mit einem Schubnocken übertragen; dabei sichern spezielle Spindeln eine Torsionsverdrehung des Gerüstpostens.

Die Hilfsquerträger sind ebenfalls mit *Querschubpressen* für die Kurvenfahrt (+60 cm) ausgerüstet. Jeder Hilfsquerträger

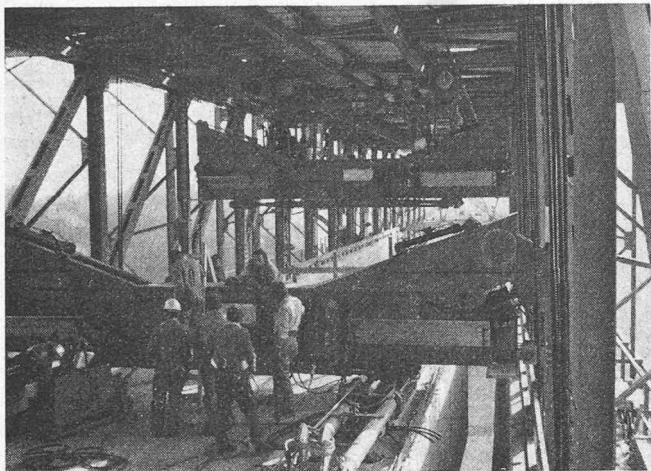


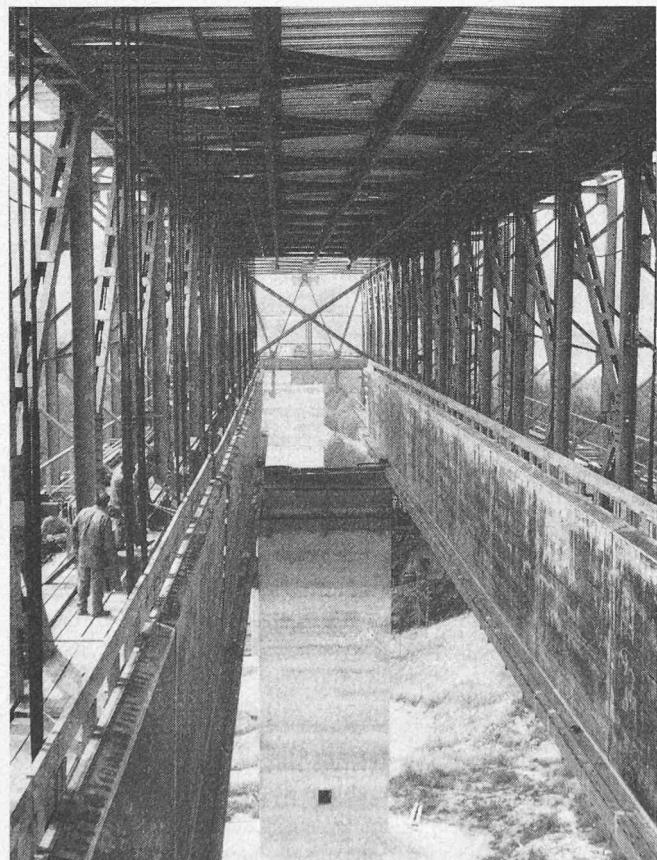
Bild 10. Die beiden Hilfsquerträger; Vorschubpressen (vorne, rechts unten)

ger ist 17,5 t schwer. Der Längstransport erfolgt mit den gekuppelten und synchron gesteuerten Laufkatzenkranen, bedient von nur einem Kranführer.

Die Aussenschalungen

Die Schalungselemente haben eine Länge von 5,04 m, entsprechend der Netzeinteilung des Fachwerks. Über einen unteren Längsträger werden die Vertikalkräfte aus den vorgefertigten Elementen und aus dem Beton in zwei L-förmige Bügel abgetragen. Diese sind mit Dwywidag-Stangen an der oberen Gerüstkonstruktion aufgehängt. Aus Sicherheitsgrün-

Bild 11. Die Aussenschalungen bereit zur Aufnahme der vorfabrizierten Bodenplatten. Zu beachten: freier Arbeits- und Transportraum über dem Pfeiler



den sind die Hängestangen doppelt geführt. Den eventuellen Ausfall einer Hängestange übersteht das System unter normgemässen Beanspruchungen. Die Höheneinstellung der Schalungen für Quergefälle und Überhöhungen erfolgt am oberen Aufhängepunkt durch Drehung der Muttern im unbelasteten Zustand. Das aus dem exzentrischen Lastangriff resultierende Moment wird zusammen mit den Windkräften über Zug- und Druckspindeln in die Gerüstrahmen abgeleitet. Um beim Betonieren ungleiche Vertikalverschiebungen von Element zu Element zu verhindern, sind sie untereinander mit Schubbolzen kraftschlüssig verbunden. In dieses Traggerippe aus Stahl ist die Schalung aus beschichteten Schaltfeln und Kanthölzern montiert. Der Schalungsdruck wird mit Bindern an die Innenschalung abgegeben.

Vor dem Absenken des Gerüsts werden die Spindeln ausgebaut. Mit Kettenzügen wird ein leichter Zug auf die Schalung aufgebracht. Durch diese Massnahme lösen sich die Schalelemente beim Absenken ohne Stösse und ohne Beschädigungen. Um für den Vorschub den nötigen Lichtraum zwischen Schalung und betonierte Kasten freizumachen, müssen die Elemente gegen die Gerüstkonstruktion ausgefahren werden. Dies geschieht mit Hilfe von fest montierten Kettenzügen, während der obere Aufhängepunkt der Zugstangen mit einem speziellen Apparat auf sekundären Querträgern verschoben wird. Zwei Bedienungsstege je Gerüstseite erlauben alle mit den Schalungen erforderlichen Manipulationen. Die Stege weisen Schubladenelemente auf, die zusammen mit den Aussenschalungen ein- und ausgefahren werden. «Unfallstellen» in Form von Löchern zwischen Bedienungsstegen und Aussenschalungen werden dadurch vermieden (Bild 11).

Die Aussenschalungen sind sehr leicht manipulierbar. Nach dem Absenken des Gerüsts genügen drei Stunden für das Ausfahren, und nach dem Vorschub ist die Schalung nach etwa 6 Stunden wieder eingefahren, nach Seite und Höhe reguliert sowie gereinigt. Die einzelnen Schalelemente müssen für das Ein- und Ausschieben nicht entkuppelt werden, wie das bei andern Systemen notwendig ist. Die ganze Schalwand bewegt sich als Gelenkkette. Dieser Eigenschaft verdankt das System einen wesentlichen Teil der Wirksamkeit.

Die mechanische Ausrüstung

Allgemeines

Im Gerüst sind 38 *hydraulische Pressen* eingebaut. Insbesondere der *Vorschubvorgang mit dem Überrollen der Hilfsquerträger* erfordert eine grosse Anzahl von Pressenbewegungen. Dabei ist nie an eine zentrale Steuerung für grosse oder kleinere Pressengruppen gedacht worden. Abgesehen davon, dass keine wirtschaftlichen Vorteile erreicht würden, gibt es kaum eine Presse, bei der nicht visuelle Kontrollen vor und nach der Bewegung, Wegmessung, Drucküberwachung, Nachstellen von Stellringen usw. notwendig wären.

Die hydraulischen Anlagen. Während des Gerüstvorschubs ist eine grosse Anzahl Bewegungen teils mit erheblichen Lasten, jedoch nur über kurze Distanzen, erforderlich; deshalb ist die Geschwindigkeit nebensächlich, so dass man mit relativ kleinen Leistungen auskommt. Für solche Bewegungen sind hydraulische Pressen mechanischen Vorrichtungen vorzuziehen.

Um laufendes Umsetzen von Hydraulikgruppen, Kopeln von Schläuchen usw. zu vermeiden, hat man jede Einheit wie Konsolenquerträger und Vorschubeinheit mit separaten Hydraulikgruppen ausgerüstet. So ist nach dem Einsticken des Elektrokabels eine ganze Einheit betriebsbereit, und Fehlmanipulationen werden vermieden.

Der maximale Betriebsdruck wurde auf 500 bar festgelegt. Die Fördermenge beträgt für jede Hydraulikgruppe 2×3 l/min oder 1×6 l/min, was eine Antriebsleistung von je 7,5 kW erfordert. Die Hubgeschwindigkeit der Hydraulikpressen beträgt so noch 4 cm/min. Eine solche Bewegung ist noch gut zu erkennen.

Das Aufteilen der Förderströme war vor allem bei den Hubpressen der Querträger notwendig und wird durch Doppelzylinder ermöglicht. Dies gewährleistet einen synchronen Lauf und verhindert die Entstehung einer hydraulischen Waage. Die Betätigung der Hub- und Querschubpressen erfolgt über federzentrierte Handventile, die widerstandsfähig und wenig störanfällig sind; während eines ganzen Bewegungsablaufs muss der Bedienungsmann das Ventil betätigen und den Vorgang überwachen.

Auf Verriegelungen konnte verzichtet werden. Pressen, die durch Überlagerung von Bewegungen gefährdet sind, wurden durch spezielle Sicherheitsventile abgesichert.

Hubvorrichtungen. Wie erwähnt, erfolgen alle Bewegungen hydraulisch. Pressen, die während des Betonievorganges unter Last stehen, sind mit Stellringen abgesichert, so dass der Hydraulikkreis entlastet wird und evtl. auftretende Lekkagen keinen Einfluss auf die Lage des Gerüsts haben. Für den Absenkvgang nach dem Betonieren sind sechs praktisch identische Hydraulikpressen mit je 350 t Tragkraft eingebaut.

Alle Hubpressen, die von einem eigenen Hydraulikkreis versorgt werden, sind mit direkt an der Presse angeflanschten, vorgesteuerten Rückschlagventilen gegen Leckverluste gesichert. Als Schlauchbruchsicherungen wurden Drosselrückschlagventile eingebaut. So kann sich das Gerüst im Falle eines Schlauchbruchs zwar etwas absenken, die Bewegung erfolgt aber kontrolliert. Vor allem bei den paarweise eingebauten Hubpressen werden so exzentrische Belastungen vermieden.

Die Krananlage. Weil das Gerüst die ganze Arbeitsfläche überdeckt und durch den Rahmenabstand von etwa 5 m eine günstige Aufhängemöglichkeit für die Kranbahn bestand, war der Einbau von Laufkatzenkranen angezeigt. Die geforderte Betonierleistung von 300 m^3 je Tag ist mit einem einzigen Kran nicht zu bewältigen. Der Beton wird hauptsächlich in den Kastenwänden benötigt, die mit zwei Kranen direkt erreichbar sind. Zudem wird so die Betriebssicherheit der Anlage erhöht. Ein weiterer Vorteil ist das Aufteilen der z.T. beachtlichen Nutzlasten auf zwei Hebezeuge. Ein Kran wurde mit einem 2-t-Hilfszug ausgerüstet, der in Gerüstmitte läuft.

Technische Daten der Krananlage

2 Einschienen-Laufkatzen

	Haupt- hubwerk	Hilfs- hubwerk
Tragkraft	2×8 t	1×2 t
Hubgeschwindigkeit	12 m/min 1 m/min	20 m/min 1,7 m/min
Katzenfahrgeschwindigkeit	10/40	und 80 m/min

Grundsätzlich hat jeder Kran eine eigene Steuerkabine und kann unabhängig bedient werden. Das ist vor allem beim Betonieren vorteilhaft. Für den Transport schwerer und sperriger Teile (Querträger, Bodenplatten) können beide Krane gekoppelt und von einer Kabine aus bedient werden, womit ein synchroner Lauf gewährleistet ist (Bild 12).

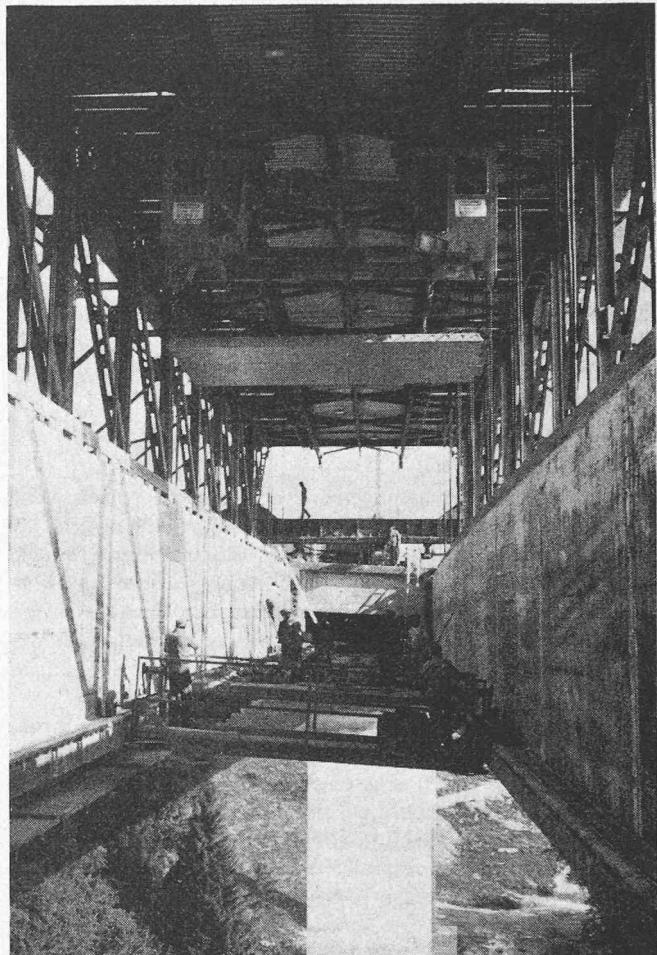


Bild 12. Verlegen der vorgefertigten Bodenplatten für den Kastenboden

Gewichte der Konstruktion

Stahl, total	505 t
Mechanik	39 t
Holz für Schalung und Laufstege, Dachhaut, Gegengewicht	122 t
Total	666 t

Montage des Gerüsts

Da das Gelände die Erstellung eines Montageplanums auf die ganze Gerütlänge nicht zuließ, erfolgte die Montage in einer Art *Taktschiebeverfahren*. Der Zusammenbau erfolgte vom Widerlager aus in Schüssen von 10 bis 15 m', die laufend vorgeschoben wurden. Da die Konsolen mit Wiegen auf dem ersten Pfeiler für diesen Einschub nutzbar waren, konnte die Montagebahn auf einen Drittel verkürzt werden. Das Gerüst ließ sich auf diese Weise im Schwenkbereich eines Montagekrans zusammenbauen. Das Einhängen der Aussenschalungen erfolgte am Schluss der Montage mit Hilfe der Laufkatzenkrane.

Besondere Anforderungen waren an die *Ausführungs-
genauigkeit* gestellt. Die einzelnen Querrahmen wurden als werkstattgeschweißte Fachwerke in drei Teilen auf die Baustelle geliefert. Der Zusammenbau und das Aufbohren der Löcher für die Montageverbindungen erfolgte in genauen Lehren. Vor dem Verschweissen der Untergurtprofile wurde jede Etappe genau gerichtet und über die ganze Länge des Gerüsts kontrolliert.

Betriebliches und Taktprogramm

Von grösster Wichtigkeit bei einem Vorschubgerüst ist im Hinblick auf die gedrängten Taktzeiten der reibungslose Umschlag der verbauten Materialien und der Transport der Innenschalungen. Beim Viaduc du lac de la Gruyère war der schmale Brückenkasten in die Dispositionen einzubeziehen. Die Breite von nur 6 m ergibt zwischen den provisorisch montierten Leitplanken eine Fahrbahn von nur etwa 5 m Breite auf eine Länge von rund 250 m bis zum «Flügelgerüst». Das Kreuzen oder gar Wenden von Lastwagen oder die Lagerung von Material im Kranbereich ist nicht möglich. Alle Transporte haben rückwärts im richtigen Zeitpunkt zu erfolgen. Die Verteilung von elektrischem Strom, Wasser und Druckluft ist am Gerüst fest installiert.

Folgende Massnahmen für den Bauverlauf wurden getroffen:

- Die inneren Stegschalungen werden am Tag nach dem Betonieren ausgebaut und auf niedrigen Anhängern im Brückenkasten deponiert. Mit einem Elektrotraktor werden sie für den nächsten Einbau nach vorne gezogen und von den Kranen übernommen und versetzt. Die Deckenelemente dagegen bleiben bis zum nächsten Einsatz eingebaut. Mit einem elektrischen Hubstapler werden sie auf Anhänger verladen und zum Einbau mit den Kranen vorgefahren
- Für den Betonumschlag wurde ein handelsübliches Doppelumschaggerät mit zwei Drehtellern ausgerüstet. Die Betonkübel mit einem Fassungsvermögen von ca. $1\frac{1}{2}$ m³ werden in der Kranachse auf diese Drehvorrichtung gestellt und zum Füllen hydraulisch unter die Auslaufschnauze geschwenkt. Dank zentraler Steuerung kann die ganze Anlage von einem Mann bedient werden. Der Antransport

des Betons erfolgt mit einem Dreiachskipper, der für die Rückwärtsfahrt aus Sicherheitsgründen mit einer Fernsehkamera ausgerüstet ist

- Die vorfabrizierten Druckplatten weisen bei einer Länge von 5,50 m und einer Breite von 3,30 m ein Gewicht von rund 7 t auf. Sie werden mit einem Mobilkran direkt von den Transportwagen quer unter die Laufkatzenkrane des Gerüstes gelegt. Die Fugen werden mit Eternitstreifen zugeschalt, eine Gerüstung für das Ausschalen entfällt dadurch.

Für das *Verlegen der Vorspannkabel* wird ein *neues, von VSL entwickeltes Verfahren* angewendet. Die leeren Hüllrohre werden zusammen mit der Armierung in die Stege verlegt, und die 31 Litzen je Kabel werden einzeln mit einem speziellen Apparat in die Hüllrohre «eingeschossen». Die Arbeit erfolgt von hinten nach vorn im bereits betonierten Brückenkasten. Die Litzentrommeln sind dabei seitlich auf der Brücke deponiert. Der Vorteil dieses Verfahrens kommt bei der Taktbauweise ganz besonders zur Geltung, da keine Kranbeihilfe notwendig ist und keine anderen Arbeiten gestört werden.

Nachdem die erste Normaletappe in vier und die zweite in dreieinhalb Wochen erstellt wurden, konnte das folgende *Dreiwochenprogramm* eingehalten werden:

1. Woche

Montag:	Spannen von drei Kabeln je Steg Absenken des Gerüsts und Ausfahren der Aussenschalung
Dienstag:	Vorschub
Mittwoch:	Einrichten der Aussenschalungen Versetzen der Brückenlager
Donnerstag:	Verlegen der vorfabrizierten Druckplatten mit Fugenverguss
Freitag:	Stegarmierung

2. Woche

Montag bis Mittwoch:	Armierung und Schalung der Hauptträgerstege und der Querträger Einziehen der Vorspannkabel
Donnerstag:	Betonierung der Stege und der Querträger (270 m ³)
Freitag:	Ausschalen Stege und Querträger

3. Woche

Montag bis Mittwoch:	Vorspannen von einem Kabel je Steg Schalung und Armierung der Fahrbahnplatte Verlegen der Hüllrohre für die Quervorspannung
Donnerstag:	Betonieren der Fahrbahnplatte (ca. 100 m ³)
Freitag:	Versetzen der Vorschubschienen

Diese Leistungen werden mit kleinen Ausnahmen in normaler Arbeitszeit bewältigt (Bild 13).

Schlussbetrachtungen

Der *technische Aufwand* zur Entwicklung eines Vorschubgerüstes ist *erheblich*. Deshalb ist die Tendenz im Ausland gut verständlich, Gerüste für Mehrfacheinsätze zu bauen, um damit Brücken mit standardisierten oder wenigstens ähnlichen Querschnittsformen zu erstellen. Anderseits ist der technische Aufwand eines Unternehmers, der ein Kauf- oder Mietgerüst verwenden will, ebenfalls nicht vernachlässigbar. Gekauft oder gemietet wird meist nur das Grundgerät. Dagegen müssen die Schalungen neu konstruiert werden, und oft ist es nötig, das Gerüst abzuändern, anzupassen, oder zu verstärken, was zusätzliche Kosten für die

Bild 13. Verlegen der Armierung und der Hüllrohre für die Vorspannung

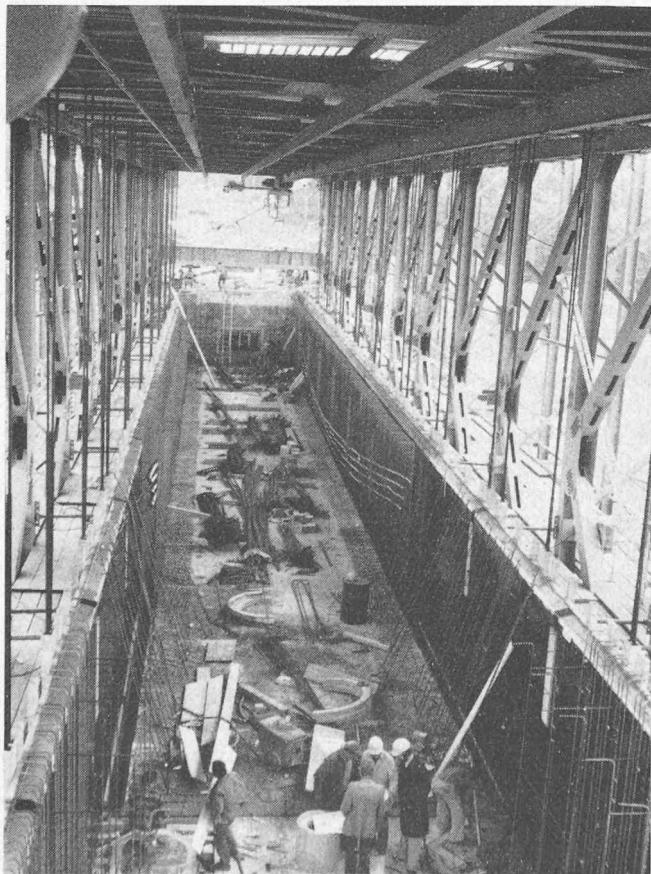


Bild 14. Übersicht über die Baustelle. Im Hintergrund sieht man das «Flügelgerüst» für die Verbreiterung der Brücke



Projektierung und die Konstruktion verursacht. Es sind Lizenzen zu bezahlen. Montage, Materialzufuhr, Betrieb müssen vorbereitet werden. Unter Berücksichtigung all dieser Aufwendungen für das Fremdgerüst, liegt der technische Aufwand für die Eigenkonstruktion in vergleichbarem Rahmen.

Bild 14 zeigt den Stand der Bauarbeiten im September 1976. Gegenwärtig, Ende Mai 1977, wird an der zwölften Spannweite gearbeitet.

Um einer *Neuentwicklung* zum Durchbruch zu verhelfen, braucht es auch den *Mut der Bauherren*. Die Projektverfasser danken ihnen an dieser Stelle für das entgegengebrachte Vertrauen.

Bauherr der Brücke:

Canton de Fribourg

Oberbauleitung:

Département des Travaux Publics, Bureau des Autoroutes

Auftraggeber für das Gerüst:

Die Bauunternehmer des CVG (Consortium du Viaduc de la Gruyère): Losinger SA, Fribourg; Antiglio SA, Fribourg

Entwicklung und Projektierung des Gerüstes erfolgten unter folgender Verantwortung:

Konzept, Konstruktion, Statik und Projektkoordination:

Ingenieurbüro Benno Bernardi, Zürich

Projekt der Mechanik, betriebliche Planung, Schalungen, Leitung der Gesamtmontage:

Losinger AG, Bern

Prüfingenieure:

Prof. Dr. C. Menn; Prof. Dr. J.-C. Badoux

Stahlbautechnische Beratung, Bemessung des Haupttragwerks, Werkstattzeichnungen:

Geilinger AG, Winterthur

Stahlbau-Ausführung:

Arbeitsgemeinschaft Geilinger AG, Winterthur; Stephan SA, Fribourg

Mechanik-Ausführung:

Losinger-Werkstätten; teils Einbau von Bestandteilen aus vorhandenem Inventar, teils Ausrüstungen verschiedener Zulieferanten

Die Stahlbaufirmen waren von mechanischen Problemen entlastet. Die Verantwortung für die Funktion als Ganzes blieb somit in der Projektierungsgruppe Losinger/Bernardi.

Eine besondere Schwierigkeit bei der Entwicklung solcher Geräte besteht darin, dass grössere Projektierungsfehler kaum reparabel sind und die Behebung kleinerer Fehler grossen Aufwand verursacht. Versuchsbetrieb und Verbesserungen wie bei anderen Maschinenentwicklungen haben weder im Bauprogramm noch im Budget Platz.

In Gruyère sind *praktisch keine Mängel* aufgetreten. Die geplanten Taktzeiten wurden nach zwei Spannweiten erreicht. Die Beschreibung sollte zeigen, dass das *Gerüst eine Massarbeit* für die Brücke in Gruyère ist. Es erbringt für dieses Objekt optimale Leistungen. Im Vergleich zu anderen Gerüsten hat es weniger Anpassungsfähigkeit für weitere Verwendungen. Es ist aber ohne weiteres denkbar, dass die wertvollen mechanischen Teile, wie Pfeilerkonsolen, Hilfsquerträger, Krane usw. in einem Vorschubgerüst mit neuem Haupttragwerk und mit neuen Schalungen weiterverwendet werden. Die Kosten für diese Gerüstteile, fertig montiert ohne Schalhaut, haben etwa 35 Prozent der Gesamtkosten ausgemacht. In dieser Art können sich dem Gerüst weitere Verwendungsmöglichkeiten eröffnen. Ohne das System grundsätzlich zu ändern, lässt sich der Kastenboden auch in Ortbeton statt mit vorfabrizierten Betonplatten erstellen.

Adresse der Verfasser: *E. Bosshard*, dipl. Ing. ETH, Ingenieurbüro Benno Bernardi, dipl. Ing. ETH, ASIC, Rötelstr. 15, 8006 Zürich, *E. Senft*, Ing. HTL, Losinger AG, Könizstr. 74, 3001 Bern, und *W. Glocker*, Ing. HTL, Fietz+Leuthold AG, Seefeldstr. 152, 8032 Zürich