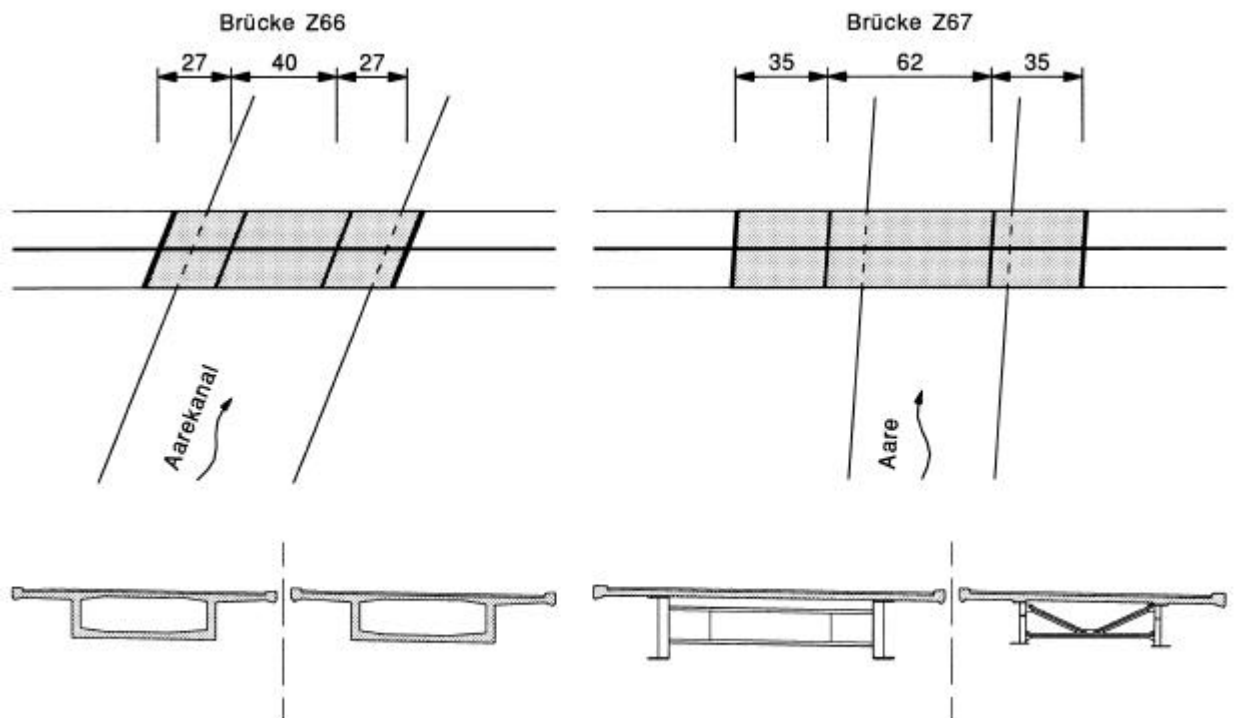


1. Grundlagen

1.1 Die bestehenden Brücken

Die Autobahn A1 überquert an dieser Stelle sowohl die Aare selbst als auch den Aarekanal. Dafür wurden in den Jahren 1965/67 dreifeldrige Balkenbrücken gebaut, mit der Bezeichnung Z66 über den Aarekanal und Z67 über die Aare mit folgenden Spannweiten und Querschnitten:



Z66 sind Spannbetonbrücken mit voller Vorspannung und Kastenquerschnitten, Z67 zweistegige Verbundbrücken. Alle Brücken sind schief gelagert und haben keinen Standstreifen.

1.2 Vorgaben des Bauherrn

Diese Brücken sollen jeweils um einen Standstreifen verbreitert werden.

Die Verbreiterungsarbeiten haben so zu erfolgen dass, wir zitieren: "die Behinderung des Verkehrs unabhängig der Bauzeit auf ein Minimum beschränkt bleibt." Dieses Ziel soll durch eine gut durchdachte Organisation der Bauarbeiten, konzentrierten Einsatz der Mittel, Verlängerung der Arbeitszeiten (Mehrschichtenbetrieb), Optimierung der konstruktiven Ausbildung (Unternehmervarianten) oder andere Massnahmen erreicht werden. Um den Unternehmer zu motivieren werden ihm Behinderungen auf der vorhandenen Verkehrsfläche als Miete aufgerechnet mit folgenden Tagesäquivalenten für drei Regime:

- | | |
|--|-------------------|
| A. keine Änderung der bestehenden Fahrbahnen, jedoch seitliche Abschränkung auf den Randstreifen | Fr. 900,--/Tag |
| B. Verkehrsführung 3/1 | Fr. 9'000,--/Tag |
| C. Verkehrsführung 4/0 | Fr. 15'500,--/Tag |

Überschlägige Kalkulationen ergaben sehr schnell, dass die Mietskosten Millionenbeträge erreichen, so dass sich Lösungen mit ausgedehntem Regime A aufdrängten.

Daneben hat der Bauherr in seiner Ausschreibung folgende Angaben gemacht:

- da die bestehende Spannbetonbrücke Z66 bezüglich Schub kritisch ist, jedoch auf Verstärkungen verzichtet werden soll, darf aus der Verbreiterung **keine Mehrbelastung**, sondern eher eine Entlastung resultieren.
- die Zusatzbelastung der mittels Konsolen verbreiterten bestehenden Pfeiler muss von diesen und ihren Fundamenten aufgenommen werden können, so dass **keine Flussbaustelle** notwendig sein wird.
- es ist eine Minimierung der differentiellen Durchbiegung der Brückenträger alt und neu im Gebrauchszustand anzustreben zur **Vermeidung von Rissen** in der Fahrbahnplatte.

1.3 Kontrollen der bestehenden Brücken

Während die Verbundbrücken die gültigen Normen erfüllen, kann dies bei den Spannbetonbrücken in Bezug auf die Schubbeanspruchungen nicht ohne weiteres gesagt werden.

Eine in Auftrag gegebene Expertise [1] vom 23.10.1997 kommt zu folgendem Ergebnis, wir zitieren: "Die normative Schubtragfähigkeit der bestehenden Brücke ist an einer Stelle nicht ganz erfüllt. Diese örtliche Unterschreitung kann toleriert werden. Eine positive Entlastung dieses kritischen Schnittes kann nicht mit der Verbreiterung erreicht werden."

Um diese Aussage zu verstehen, muss man wissen, dass die örtliche Schubschwäche auf der der Verbreiterung abgelegenen Seite liegt und ein noch so steifer, mit vielen Querträger angeschlossener Kastenträger nicht ausreicht, eine positive Hebelwirkung auszuüben, um sie, die Schubschwäche, zu beheben. Dies liegt nicht zuletzt an der schiefen Lagerung der bestehenden Brücke und der geringen Rahmensteifigkeit des Kastenträgers.

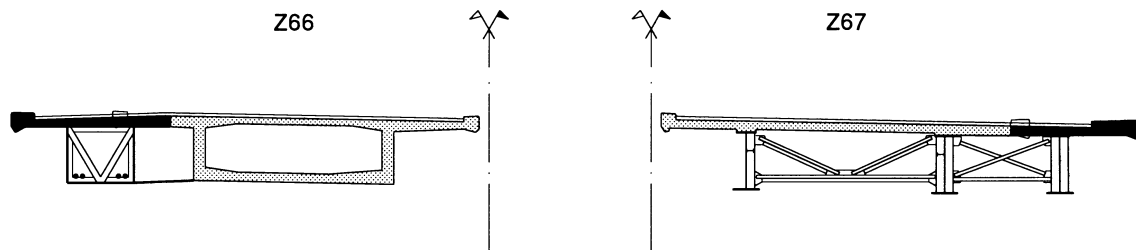
Der Experte schreibt: "Der innere Steg, welcher als Auflager für die Hebelwirkung dienen soll, ist an dieser Stelle viel weicher (grösserer Abstand vom Auflager) als der äussere Steg."

Die Untersuchungen des Experten wurden auf der Basis von Spannungs- und Schnittkraftermittlungen des Finitelementprogrammes MAPS [2] durchgeführt.

2. Lösungsvorschläge

2.1 Der Ausschreibungsentwurf

Der Ausschreibungsentwurf sah folgende Lösungen für die Verbreiterungen vor:



- bei Z66 mit einem längs vorgespannten offenen Stahlkasten, der teilweise unter die bestehende Fahrbahnauskragung zu liegen kommt – daher Abbrucharbeiten in die Fahrbahn hinein und Schwierigkeiten bei der Schalung im Kasteninneren;
- bei Z67 Beistellen eines Doppel-T-Trägers neben den Konsolkopf, der erst nach dem Anschluss über die Querträger kippsicher ist und bei den Abbrucharbeiten eher hindert.

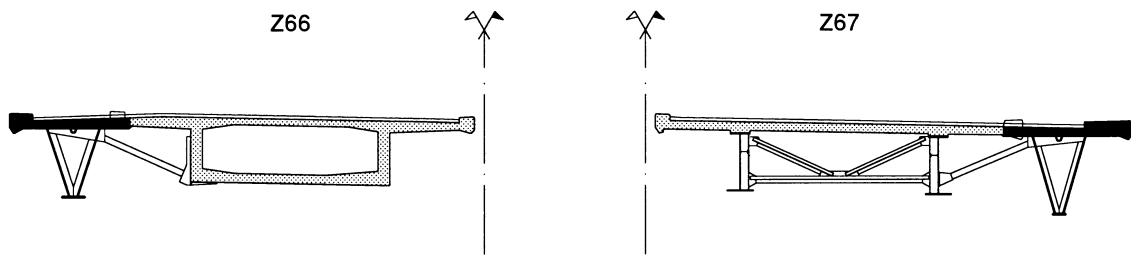
2.2 Die Unternehmervariante

Die Unternehmervariante richtet sich nach folgenden Grundsätzen:

1. die neuen Stahlträger werden von Hilfsbrücken aus neben die bestehenden Brücken eingebaut ohne jegliche Behinderung des Verkehrs;
2. sie müssen genügend biege- und torsionssteif sein, um auch ohne Feldquerträger stabil zu sein, so dass sie schnell vom Kranhaken genommen werden können;
3. es wird nur der Konsolkopf abgebrochen und zwar ohne Behinderung des Verkehrs von den beigestellten Stahlträgern als Arbeitsbühnen aus;
4. die Schalungsarbeiten für die Verbreiterung der Betonplatte müssen erleichtert und von den neuen beigestellten Trägern alleine getragen werden, so dass der Verformungsausgleich zwischen neuen und alten Trageteilen leicht möglich wird.

Auf diesen Grundlagen aufbauend, wurde die folgende zur Ausführung gekommene Unternehmervariante entwickelt:

Sowohl der Spannbetonbrücke Z66 als auch der Verbundbrücke Z67 werden Stahlverbundträger mit einem Dreiecksquerschnitt beiseite gestellt. Diese zusätzlichen Träger ruhen auf allseitig beweglichen Lagern und sind mittels weniger Querträger (Querträgerabstand 10 – 12 m) so mit den bestehenden Brücken verbunden, dass deren Ent- und Belastung ohne Fahrbahnplattenbiegung erfolgen kann.

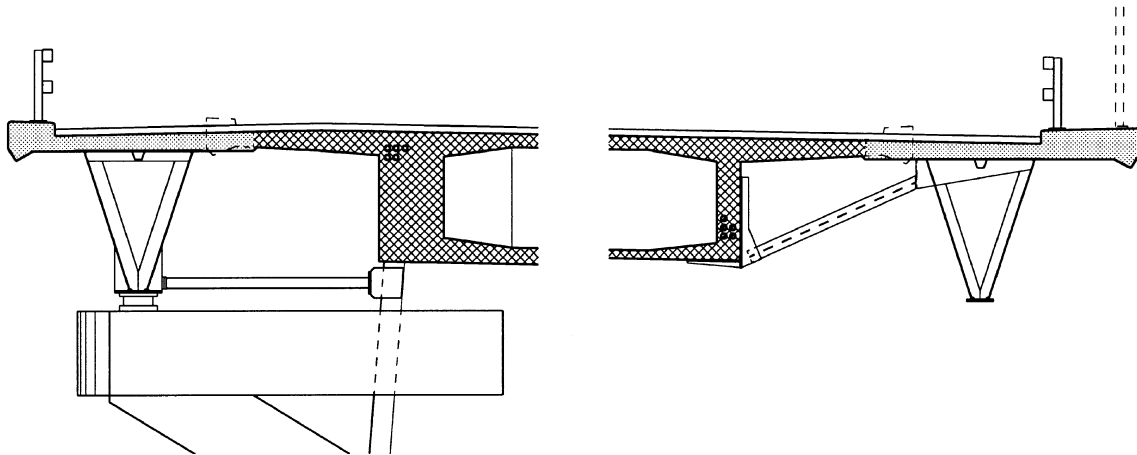


Diese Lösung erfüllt alle aufgezählten Grundsätze, kommt mit einer minimalen Anzahl von Lagern aus und beschränkt die notwendige Konsolbreite der Brückenpfeiler.

3. Konstruktion

3.1 Der Stahlträger

Der Stahlträger wird als torsionssteifer Dreiecksträger ausgebildet ohne Querschotten. Die Beulsteifen erbringen bei dem fast geschlossenen Dreieck eine genügende Rahmensteifigkeit.



Der Kasten kann begangen werden.

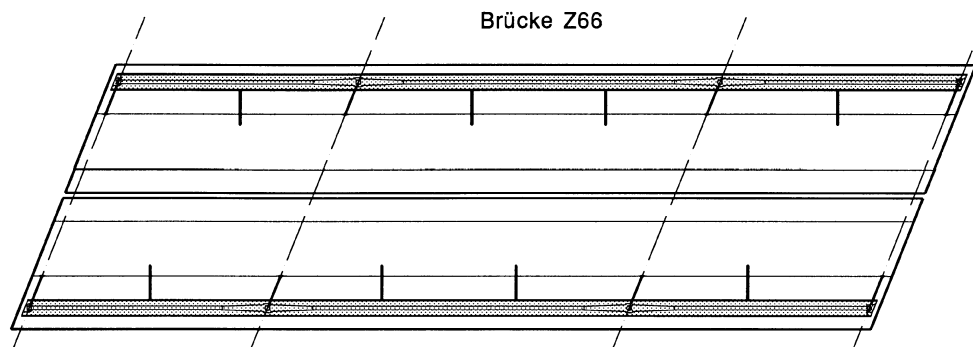
Die Systemwahl mit Dreiecksträgern findet ihre Begründung wie folgt:

- bei der Trägermontage: wegen der **Stabilität der Dreiecksträger**
- beim Konsolenabbruch: wegen der **Dreiecksträger als Arbeitsbühne**
- beim Betonieren der **exzentrischen Fahrbahnplatte**: wegen der **Torsionssteifigkeit der Dreiecksträger**
- für die **Schalung**: wegen der **Reduktion der Schalfläche im Obergurt**
- für die **Pfeilerkonsole**: wegen des **kleineren Kragarmes**
- für die **Fahrbahnplatte**: wegen der **erhöhten Bruch-sicherheit**

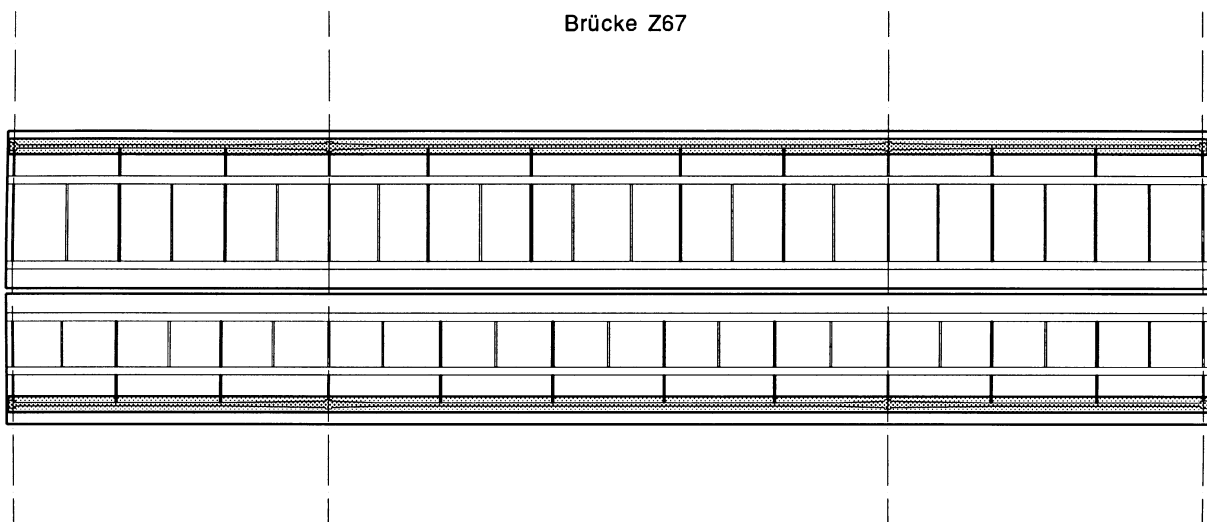
3.2 Die Querträger

Es werden nur sehr wenige Feldquerträger als Verbindung zu den bestehenden Brücken eingebaut:

- bei Z66 vier, im Abstand von 12 bis 15 m;



- bei Z67 acht, mit Abständen von 11 bis 13 m.



Diese geringe Anzahl genügt, um die Biegung in der Fahrbahnplatte aus differentiellen Trägerverformungen klein zu halten. Sie bestehen nur aus einer Diagonalen und der Fahrplatte als Gurt.

Über den Pfeilern und Widerlagern wird nur ein Stab eingebaut, so dass die Lager dort keine Horizontalkräfte aufnehmen müssen.

Die gedankliche Konzeption der Brückenverbreiterung gründet auf dem Postulat, dass der beige stellte Träger die bestehende Brücke nicht be-, sondern entlasten soll. Darum wurde der Verbreiterungsträger eher steifer gewählt als es seine Beanspruchung unter Direktbelastung erfordern würde. Das Querträgerdreieck bringt zum Ausdruck, dass die anliegende Seite der alten Brücken sich anhängt. Wenn auch die abliegende Seite wie unter 1.3 beschrieben davon nicht profitiert, kann doch das Tragteil unter der meist befahrenen Hauptspur so entlastet werden.

3.3 Der Verbundquerschnitt

Über Dübel auf der Obergurtplatte wird der Verbund zur Fahrbahn hergestellt. Dabei wird dieser Fahrbahnteil in drei Phasen gegossen:

Der Hauptanteil ohne vertikale Behinderung durch und zur bestehenden Brücke, dann der Fugenschluss und schlussendlich der Konsolkopf (siehe 5.1).

3.4 Die Brückenlagerung

Der Verbreiterungsträger wird zwängungsfrei gelagert, d.h. er hängt sich an das Lagerungs- und Stabilisierungssystem der bestehenden Brücke an. Die neuen Lager sind also allseitig beweglich.

3.5 Die Pfeilerkonsolen

Die bestehenden Widerlager und Pfeiler mussten entsprechend den verbreiterten Brückenüberbauten angepasst werden.

Die Widerlager sind in offener Baugrube analog den vorhandenen Konstruktionen flach fundiert worden, während für die Pfeilerverbreiterungen aus Kostengründen eine Lösung ohne Wasserbaustelle unter Ausnützung der Tragreserven der bestehenden Foundationen angestrebt worden ist.

Die Lagerung der neuen Stahlträger auf den anbetonierten Pfeilerwandkonsolen ist so gewählt worden, dass die bestehenden Pfeilerquerschnitte nicht verstärkt werden mussten. Die Aufnahme der Horizontalkräfte aus den Auflagerbedingungen der verbreiterten Brückenüberbauten wird durch eine externe Vorspannung bewerkstelligt, die entlang den Pfeilerwänden angeordnet ist und die beiden Pfeilerköpfe verbindet. Die Litzenkabel sind in Stahlrohren geführt und somit von äusseren Einwirkungen geschützt.



Bild 7

4. Statische Berechnung

4.1 Der Verbreiterungsträger

Der Verbreiterungsträger wurde als einfacher Durchlaufträger gerechnet und so bemessen, dass er sich und seinen vollen Verkehrslastanteil nach SIA 160 selbst tragen kann. Er wurde steifer als die bestehenden Brückenträger ausgeführt.

Die Tragsicherheit wurde am Verbundträger n-frei nach der Methode EER ermittelt und jeweils der ungünstigste der beiden Zustände, gerissen oder ungerissen, berücksichtigt. Die Gebrauchstauglichkeit wurde mit Spannungsüberlagerungen aus dem Histogramm unter Berücksichtigung aller Eigenspannungen geprüft.

4.2 Die Querträger

Die Querträger wurden wie folgt berechnet:

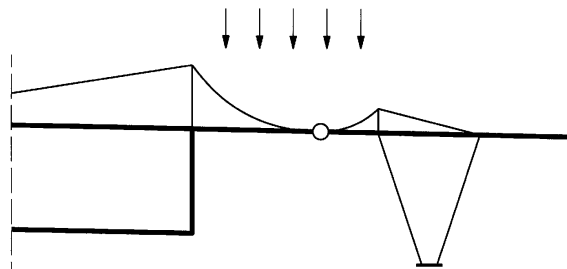
1. Handstatik am Trägerrost mit jeweils drei Hauptträgern und linearer Quereinflusslinie;
2. Für Z67 Trägerrostberechnung mit einem Stabwerkprogramm (MICROSTRAN 3D);
3. Für Z66 mit dem finite Elementprogramm MAPS [2] für Platten, Scheiben und Stäben.

Dabei liegen die Bemessungswerte aus der elektronischen Berechnung ca. 40% unter denen der Handstatik.

4.3 Die Fahrbahnplatte

Es ist jeweils ein Problem, wenn als Kragarm gerechnete und bewehrte Fahrbahnplattenteile nach der Verbreiterung zum Randfeldträger umfunktioniert werden.

Für die Traglastkontrolle wurde folgendes Modell angesetzt:

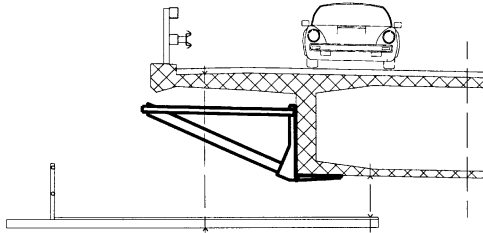


Für die Überprüfung der Gebrauchstauglichkeit wurden die Spannungen in der unteren Bewehrung mit dem Programm MAPS [2] bestimmt.

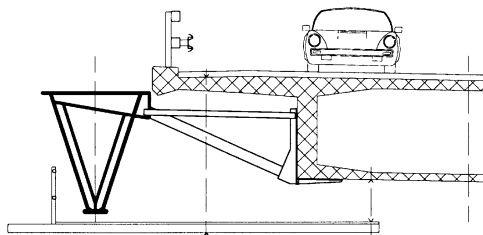
5. Bauausführung

5.1 Bauablauf

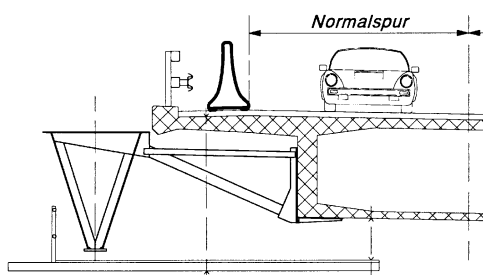
Phase 1: Montage der Feldquerträger an die bestehende Brücke.



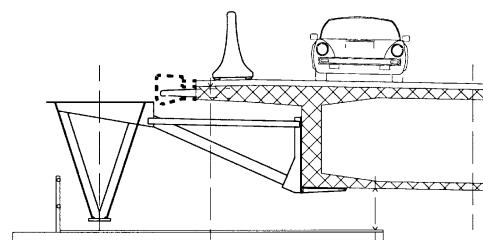
Phase 2: Montage der Stahlträger neben die bestehende Brücke.



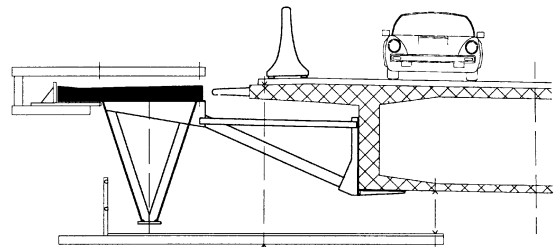
Phase 3: Versetzen von Tric-Bloc Elementen auf das Bankett



Phase 4: Abbruch des Konsolkopfes ab Dreiecksträger als Arbeitsbühne unter Belassung der Bewehrung

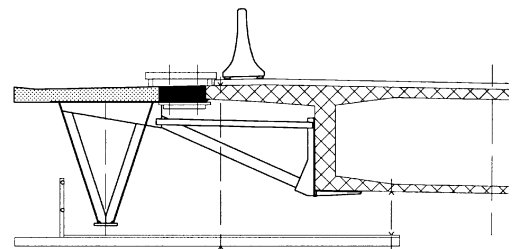


Phase 5: Armieren und betonieren der Fahrbahnplatte mit Hilfe eines Schalwagens. Die vertikal gelösten Querträger gestatten die unabhängige Verformung des Dreiecksträgers.

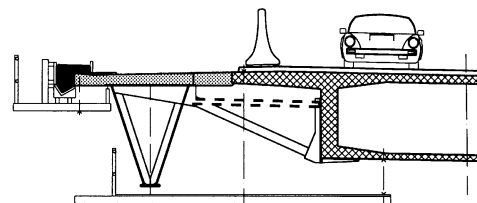


Phase 6: Vertikales Blockieren der Dreiecksträger an den Querträgern, um Vertikalverschiebungen in der Betonierfuge zu vermeiden.

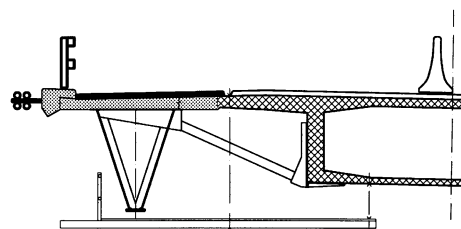
Nach dem Schalen und Armieren der Fuge, betonieren in einer Nachtetappe ohne Verkehr.



Phase 7: Aufbringen der Abdichtung und Betonieren des Konsolkopfes. Entfernen der Montagegestäbe.



Phase 8: Einbau der Fahrbahnübergänge, der Leitplanken und des Belages im Verkehrsregim 3/1.

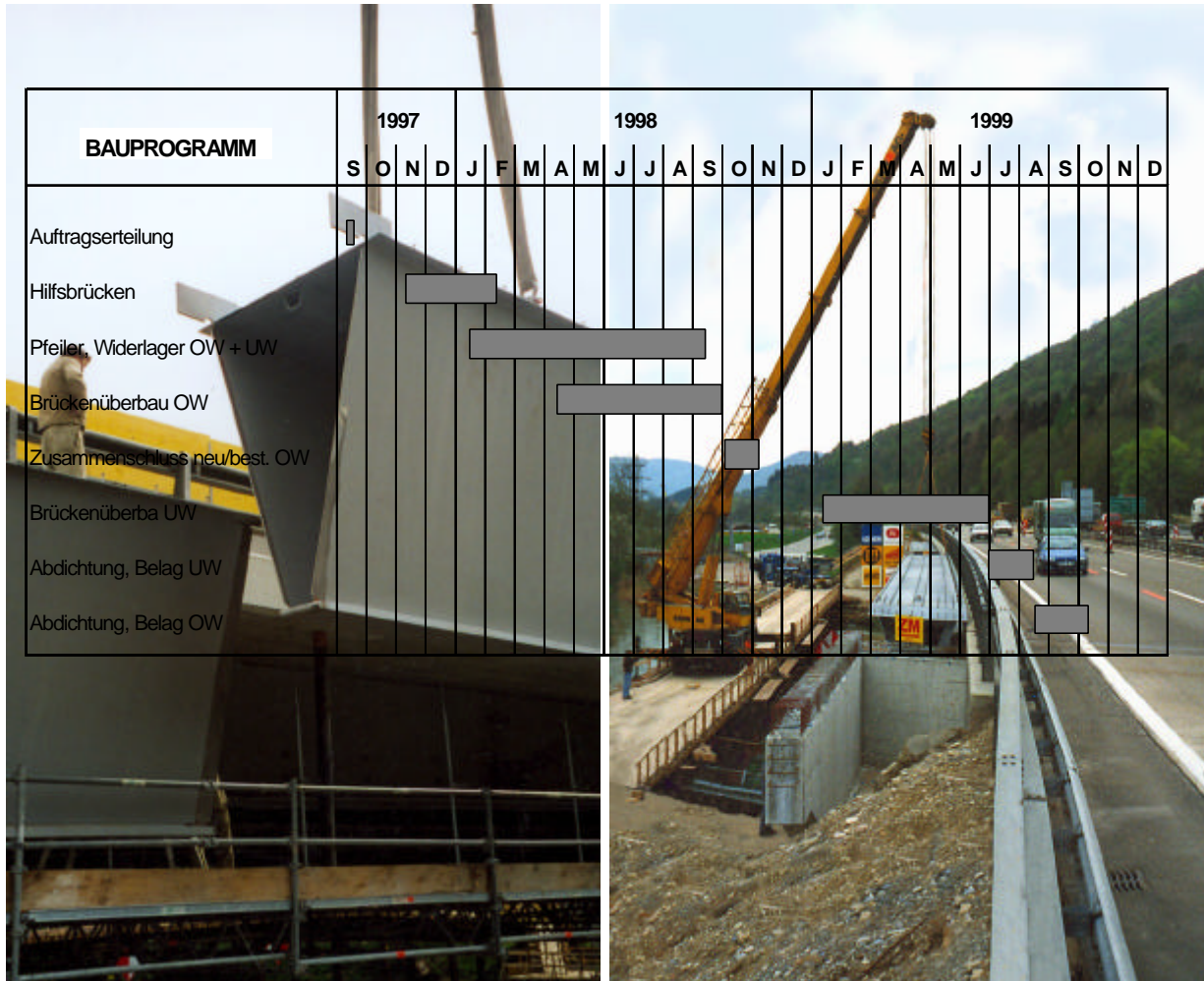


sowohl die Stahlbaumontagen als auch das Heranführen des Betons wurde von einer seitlichen Hilfsbrücke aus vorgenommen.

Es ist ersichtlich, dass mit dieser Lösung Behinderungen auf den Normalspuren weitgehend vermieden werden konnten.

Bild 9

Bild 10



5.2 Bauprogramm

5.3 Baukosten

Die Baukosten samt Belägen, Leitschranken und Entwässerung beliefen sich für beide Brücken auf Fr. 10'260'000,--. Bei einer angebauten Brückenfläche von 7'016 m² wird der Quadratmeterpreis Fr. 1'462,--.

6. Zusammenfassung

Es wird eine Lösung zur Verbreiterung von Autobahnbrücken aufgezeigt, mit minimalen Verkehrsbehinderungen. Auch in wirtschaftlicher Hinsicht hat sich diese Unternehmervariante durchgesetzt. Sie kommt mit wenigen zusätzlichen Brückenlagern aus und erlaubt wegen ihrem geringen Eigengewicht eine Lösung ohne Flussbaustelle über einer auf die Pfeiler aufgespannten Konsole.

7. Am Bau beteiligt

- Projektautor:** Dr. Hans-G. Dauner
- Ingenieur Oberbau:** Dauner Ingénieurs Conseils
DIC SA
1860 Aigle
- Ingenieur Unterbau:** Trachsel, Schibli, Walder + Partner AG
TSW
4603 Olten
- Bauausführung:** Totalunternehmer
Arbeitsgemeinschaft
Astrada AG / Schenk AG / Vogt AG
Solothurn / Oensingen / Olten
E. Flückiger AG, Rothrist
Hallwyler Gebr. AG, Rothrist
Rothpletz, Lienhard + Cie AG, Aarau / Olten
Marti AG / STA AG, Solothurn / Olten
Zschokke Locher AG, Zürich
- Subunternehmer Stahlbau:** Zwahlen & Mayr AG
1860 Aigle

Literatur

- [1] Bänziger + Bacchetta + Partner:
Brückenverbreiterung Objekt Z66 Expertenbericht über die
Schubbeanspruchung / Oktober 97
- [2] MAPS – Finite Elementprogramm
Dr. Amar Bouberguig / Lausanne

Adresse der Verfasser:

Hans-G. Dauner, Dr. Ing., DIC SA, 1860 Aigle
Dieter Stucki, Ing. dipl. ETHZ, DIC SA, 1860 Aigle
Hansjörg Schibli, Ing. dipl. ETHZ, TSW AG, 4603 Olten

Bilder

Z66 / Z67

- | | |
|-------------|--|
| Bild 1 | Spannweiten und Querschnitte der bestehenden Brücken |
| Bild 2 | Brückenverbreiterungen – Ausschreibungsentwürfe |
| Bild 3 | Brückenverbreiterung – Unternehmervariante |
| Bild 4 | Verbreiterungsträger am Beispiel von Z66 über der Pfeilerkonsole und im Feld |
| Bild 5 | System im Grundriss Z66 |
| Bild 6 | System im Grundriss Z67 |
| Bild 7 | Pfeilerkonsole |
| Bild 8 | Traglastmodell der Fahrbahnplatte |
| Bild 9 / 10 | Trägereinhub bei fliessendem Verkehr |