

ETH Zürich

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich

Institut für Denkmalpflege und Bauforschung

Professur für Konstruktionserbe und Denkmalpflege

Professorin: Prof. Dr. Silke Langenberg

Dozentin: Dr. Regine Hess

Vertiefungsarbeit: Konstruktionserbe in Firmenarchiven

FS22

Der Viadotto della Biaschina

Ein spätes Beispiel für Schweizer Autobahnbrücken
aus Vorspannbeton?

Marija Petruljević

Ernst-Zöbeli-Strasse 10, 8048 Zürich

marijap@student.ethz.ch

16-914-103

Architektur Msc

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Einleitung | 3 |
| 1. Der Viadotto della Biaschina..... | 4 |
| 1.1. Beschreibung | 4 |
| 1.1.1. Lage | 4 |
| 1.1.2. Form | 5 |
| 1.1.3. Material..... | 6 |
| 1.1.4. Entstehungsgeschichte..... | 6 |
| 1.2. Analyse | 6 |
| 1.2.1. Positionierung..... | 6 |
| 1.2.2. Die Fundationen | 7 |
| 1.2.3. Die Pfeiler | 8 |
| 1.2.4. Der Brückenträger | 9 |
| 2. Schalungssysteme | 12 |
| 2.1. Bauvorgang des Viadotto della Biaschina | 12 |
| 2.2. Bau der Pfeiler | 14 |
| 2.2.1. Betonierungsart des Pfeilers..... | 14 |
| 2.3. Kletterschalungen | 15 |
| 2.4. Bau des Brückenträgers..... | 16 |
| 2.5. Freivorbauverfahren..... | 17 |
| 2.5.1. Bewegen des Freivorbauwagens..... | 18 |
| 2.5.2. Vorgehen beim Einrüsten der Innenschalung | 19 |
| 2.6. Fahrbahn..... | 20 |
| 3. Das Viadotto della Biaschina im Kontext Schweizer Vorspannstahlbetonbrücken von 1930 bis 1990..... | 21 |
| 3.1. Vergleich mit anderen Brücken aus der gleichen Zeitperiode | 23 |
| 3.2. Die längste Autobahnbrücke der A2..... | 23 |
| 3.2.1. Vergleich des Lehnenviadukts Beckenried mit dem Viadotto della Biaschina..... | 25 |
| 3.3. Die höchste Autobahnbrücke der Schweiz | 25 |
| 3.3.1. Vergleich des Pont sur la Mentue mit dem Viadotto della Biaschina | 26 |
| 3.4. Älteste Autobahnbrücke der Schweiz | 27 |
| 3.4.1. Vergleich des Pont sur la Veveyse mit dem Viadotto della Biaschina | 29 |
| 3.5. Schlussfolgerungen und Einordnung..... | 29 |
| 4. Denkmalpflegerisches Gutachten | 30 |
| 4.1. Bereits geschützte Vorspannstahlbetonbrücken der Schweiz..... | 30 |
| 4.2. Charakteristische Merkmale des Viadotto della Biaschina..... | 32 |
| 4.3. Zustand der Autobahnbrücke | 32 |
| 4.4. Bedeutung in der Landschaft der Biaschina | 33 |
| 4.5. Infrastrukturelle Bedeutung für die Region..... | 33 |
| 4.6. Gestalterischer Wert des Viadotto della Biaschina | 34 |
| 4.7. Zeugniswert als Vorspannstahlbetonbrücke der 1980er Jahre | 34 |
| 4.8. Soll das Biaschina-Viadukt ein Denkmal werden? | 34 |
| Schlusswort, Ein spätes Beispiel für Schweizer Autobahnbrücken aus Vorspannbeton | 36 |
| Literaturverzeichnis | 37 |
| Bildquellen..... | 38 |
| Anhang..... | 41 |

Einleitung

Die Schweiz besitzt rund 4548 Autobahnbrücken auf 1840km Nationalstrasse (Autobahn).¹ Die A2 verbindet Basel mit Chiasso und erstreckt sich dabei über ca. 300km.² Die Mehrheit der Schweizer Autobahnbrücken wurde in den 1960-1980er Jahren gebaut, aufgrund des Bundesbeschlusses von 1960, welcher vorsah, dass Autobahnnetz bis 1980 auf 1800km zu erweitern.³ Der Autobahnabschnitt der A2 von Hergiswil bis zur Luzerner Kantonsgrenze gilt als erster in der Schweiz, dieser wurde 1962 eröffnet. Die Arbeiten der A2 dauerten bis ins Jahr 1986 und endeten mit der Eröffnung des Abschnitts zwischen Castione und Biasca.⁴ Die Autobahn ist bis heute nicht vollständig ausgebaut. Die letzten Lücken im Nationalstrassennetz sollen bis 2025 geschlossen werden.⁵ Wenn heute die Autobahn weiter ausgebaut wird, wie kann dann der Viadotto della Biaschina ein spätes Beispiel für Schweizer Autobahnbrücken aus Vorspannbeton?

Diese Frage lässt sich nur beantworten, indem vorab geklärt wird, wie die Autobahnbrücke gebaut wurde. Um die Brücke zu verstehen, wird sie im Folgenden analysiert, mit dem Wissen aus der Fachliteratur verknüpft und in den Kontext der Schweizer Autobahnbrücken gesetzt. Ist der Viadotto della Biaschina eine Vorspannstahlbetonbrücke, welche vor Ort betonierte wurde, oder sind vorgefertigte Bauteile verwendet worden? Ist der Fahrbahnträger im Freivorbauverfahren gebaut, oder wurde ein Lehrgerüst benutzt, um die Kräfte während des Baus zu tragen? Wie wurden die Pfeiler betonierte? Wurde mit einer Kletterschalung gearbeitet, einer Gleitschalung oder doch mit vorgefertigten Elementen? Das benutzte Verfahren ist durch viele Faktoren beeinflusst. Einige davon sind die Lage, das Material, die Form oder Vorgaben der Bauherrschaft. Der Vergleich mit anderen Brücken ist für die Einordnung und Beantwortung der Fragen essentiell. Untersucht wird, welche Bauweise für andere Autobahnbrücken der Schweiz benutzt wurden und wie einzigartig das Biaschina-Viadukt ist. Daran anschliessend wird die Denkmalswürdigkeit durch ein Gutachten festgestellt. Dabei wird der Zustand des Sichtbetons beurteilt und eine Empfehlung abgegeben, wie der weitere Umgang mit der Brücke sein sollte.

¹ Vgl. Daniel Fuchs, 12 Prozent der Schweizer Brücken sind beschädigt – Sanierung kostet Milliarden, in: *Aargauer Zeitung*, 16.08.2018, 04:00, <https://www.aargauerzeitung.ch/schweiz/12-prozent-der-schweizer-brucken-sind-beschadigt-sanierung-kostet-milliarden-ld.1523445>.

² Vgl. Quando un'autostrada era cantiere del secolo, in: *swissinfo.ch*, 5. Januar 2020, https://www.swissinfo.ch/ita/grandi-opere_quando-un-autostrada-era-cantiere-del-secolo/45472212.

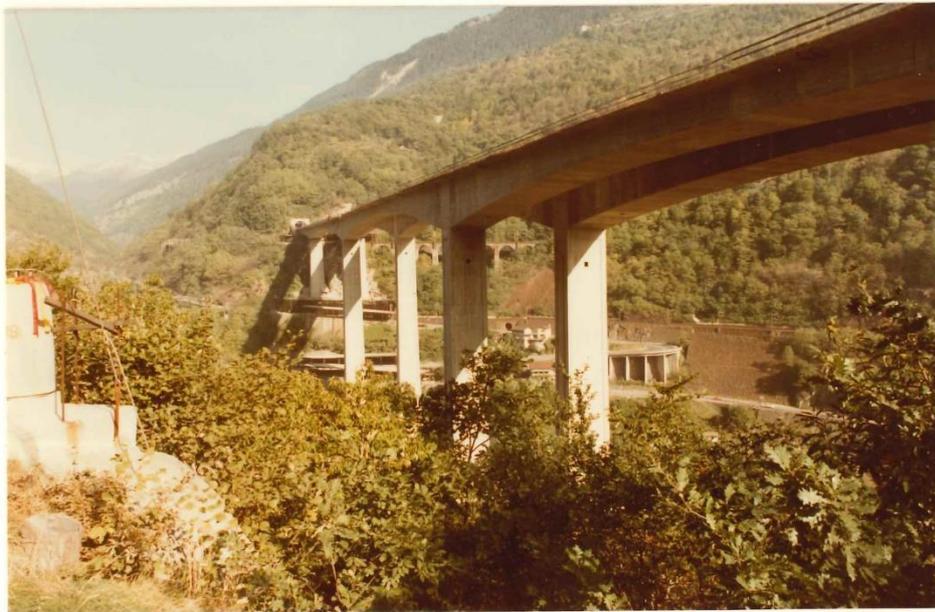
³ Vgl. Alexander Rechsteiner, *Die erste Autobahn der Schweiz* (blog), *nationalmuseum.ch*, 27.12.2021, <https://blog.nationalmuseum.ch/2021/12/die-erste-autobahn-der-schweiz/>.

⁴ Vgl. Ianostrastoria.ch, *L'autostrada N2 in costruzione*, 12.03.2019, <https://ianostrastoria.ch/entries/EDknOjVrXp2>.

⁵ Vgl. Stefan Sandmeier, Nationalstrassen, in: *Historischen Lexikons der Schweiz (HLS)*, 06.10.2020, <https://hls-dhs-dss.ch/de/articles/007960/2020-10-06/>.

1. Der Viadotto della Biaschina

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Daten zum Biaschina-Viadukt genannt, aus welchen Bestandteilen es besteht und was die Überlegungen der Planer hinter den einzelnen Bauteilen waren. Das Ziel ist die Bauweise der Autobahnbrücke zu verstehen. Dieses Wissen ist notwendig, um die folgenden Kapitel verstehen zu können.



1910 1982 136

Abbildung 1: Das Viadotto della Biaschina, Blick Richtung Galleria della Biaschina

1.1. Beschreibung

In diesem Abschnitt werden die Verortung der Brücke und ihr Aussehen thematisiert. Ausserdem wird auf die Baugeschichte der Brücke eingegangen, um die Bauweise besser verstehen zu können. Das Nachvollziehen der Entwurfsentscheidungen wird dadurch ermöglicht.

1.1.1. Lage

Das Biaschina-Viadukt ist ein Teil der Schweizer Autobahn A2 im Kanton Tessin, welche die Städte Airolo und Bellinzona verbindet, und liegt zwischen den Anschlüssen Faido und Biasca. Ihren Namen hat die Autobahnbrücke der Schlucht zu verdanken, über die sie führt. Die Biaschina-Schlucht reicht vom Dorf Giornico im Tal bis zum Ort Faido. Dieses Tal entstand durch den Rückzug des Würmgletschers vor ca. 11'000–10'000 Jahren.⁶ Unter der Autobahnbrücke fliesst der Fluss Ticino. Die Brücke überspannt dreimal die Kantonsstrasse und zweimal die Eisenbahnlinie der SBB. Das Viadukt schliesst an einem Ende an den Biaschina-Tunnel an, am anderen an den Viadotto San Pellegrino.

⁶ Vgl. Christiane Martin, Nicole Bischof, Manfred Eiblmaier, Würm-Kaltzeit, in: *Spektrum*, o. J., Heidelberg, <https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/wuerm-kaltzeit/18395>.

Die Kantonsstrasse von Faido bis Biasca verläuft fast parallel zum Fluss Ticino. Sie umfährt den Berg und geht auf der anderen Seite nach drei Schleifen, welche der Höhenüberwindung dienen, weiter. Die Autobahn entspricht dem Verlauf der Kantonsstrasse. Jedoch passiert die Autobahn geradlinig den Biaschina-Tunnel, um dann wieder dem Fluss zu folgen (siehe Abb. 2). Da keine Schleifen oder scharfe Kurven mit der Autobahn möglich sind, war ein Tunnel die Lösung. Ausserdem muss eine Autobahn auf den Höhenweg achten. Das heisst, dass eine Autobahn eine Steigung von höchstens 5% betragen darf.⁷

1.1.2. Form

Die gesamte Zwillingsbrücke (für jede Fahrtrichtung war eine eigene Brücke erstellt worden) ist vor Ort mit Vorspannbeton betoniert worden. Das Trennen der Fahrbahnen in zwei Brücken war eine Vorgabe, welche für die 17 Autobahnbrücken⁸ der A2 von Airolo nach Chiasso befolgt werden musste.⁹

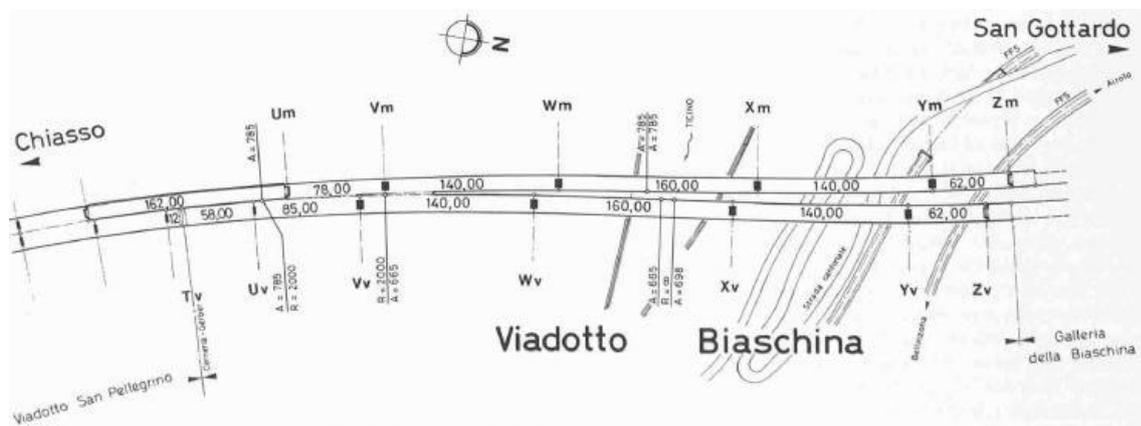


Abbildung 2: Situationsplan

Die beiden Brücken bestehen insgesamt aus neun schlanken Pfeilern und aus den zwei darüber gebauten Fahrbahnen. Die bergseitige Fahrbahn hat vier Pfeiler. Die talseitige Fahrbahn wird von fünf Pfeilern getragen, da sie ein Stück länger ist und damit der Viadotto San Pellegrino später anschliesst. Die talseitige Brücke ist in sechs Abschnitte unterteilt und die bergseitige Brücke in fünf. Diese Brückenabschnitte werden durch die neuen Pfeiler getrennt. Die Spannweiten der Fahrbahn talseitig betragen von Chiasso aus gesehen Richtung St. Gotthard 58m, 85m, 140m, 160m, 140m und 62m und bergseitig 78m, 140m, 160m, 140m und 62m. Beide Brücken sind im Grundriss leicht geschweift (siehe Abb. 2). Insgesamt beträgt die Länge der Brücke vom Tunnel bis zum

⁷ Vgl. Angelo Pittana, Die Nationalstrassen im Tessin, in: *Schweizer Ingenieur und Architekt*, 1983, Bd. 101, S. 556, <https://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=sbz-003:1983:101::338#2374>.

⁸ Vgl. Quando un'autostrada era cantiere del secolo, in: *swissinfo.ch*, 5. Januar 2020, https://www.swissinfo.ch/ita/grandi-opere_quando-un-autostrada-era-cantiere-del-secolo/45472212.

⁹ Vgl. Fumagalli/Disch 1996, Bd. 3, S. 232.

Viadotto-San Pellegrino 645m. Sie misst von der Fahrbahn bis zum tiefsten Punkt am Boden 110m.¹⁰

1.1.3. Material

Das Baumaterial Beton wurde bereits vor der Ausschreibung des Wettbewerbes bestimmt. Der Grund dafür war, dass alle Brücken und Tunnel der Autobahnstrecke A2 ein einheitliches und kohärentes Erscheinungsbild haben sollten, da sie die Landschaft bedeutend prägen. Deshalb wählte der Architekt Rino Tami, welcher als Berater engagiert worden war, schon im Voraus das Material aus. Dieser Beschluss musste bei der Ausschreibung des Wettbewerbs beachtet werden.¹¹

1.1.4. Entstehungsgeschichte

1976 wurden die Wettbewerbe für die Autobahnbrücken in der Leventina ausgeschrieben. Für die Autobahnbrücke in der Biaschina-Schlucht veranstaltete der Kanton Tessin als Bauherrschaft wie vorgegeben einen Wettbewerb. Im Wettbewerb ging es nicht nur um das Talviadukt, sondern auch um das Bergviadukt San Pellegrino. Für das selektive Verfahren suchte der Kanton Tessin sieben Büros aus, welche ihre Projektvorschläge einreichen konnten. Den Wettbewerb gewonnen hat das Ingenieurbüro Guzzi AG. Die Beurteilungskriterien der Bauherrschaft beinhalteten ein schlüssiges Konzept, eine statische Lösung mit konstruktiven Qualitäten, wie wirtschaftlich die Brücke ist, die Ästhetik der Brücke, eine lange Dauerhaftigkeit des Baus mit leichtem Unterhalt und ein geringes Baurisiko. Besonders wichtig war der Bauherrschaft eine grosse Transparenz der Brücke im Mittelteil, welche sie explizit verlangten, um den Blick auf die Berglandschaft nicht zu stören.¹² Die Ausführungsarbeiten für den Fahrbahnträger bekam die Ed. Züblin + Cie. AG. Zürich, was die vorliegenden Pläne verdeutlichen.¹³ 1979 begann der Bau der Brücke und dauerte bis 1983 an. Die Autobahnbrücke steht heute noch. Sie ist nach aktuellem Stand weder inventarisiert, noch ist sie ein eingetragenes Denkmal der Schweiz.

1.2. Analyse

Bei der Analyse wird auf die einzelnen Teile der Brücke eingegangen. Durch das Nachvollziehen der Entwurfsentscheidungen wird der Bau als Ganzes verständlich. Sie dient als Basis für die Herleitung der theoretischen Grundlagen.

1.2.1. Positionierung

Die Standorte der Pfeiler wurden anhand von mehreren Kriterien ausgesucht. Zum einen durften die Pfeiler nicht auf der Kantonsstrasse, der SBB-Linie oder im Fluss stehen. Zum andern wollte die Bauherrschaft eine grosszügige Mittelöffnung im Bereich der Talüberquerung. Diese Öffnung beträgt im finalen Entwurf 160m. Da wegen des

¹⁰ Vgl. Schärer/Menn 2015, S. 226.

¹¹ Vgl. Fumagalli/Disch 1996, Bd. 3., S. 230.

¹² Vgl. Ugo Guzzi, Bernhard Meier, Viadotto della Biaschina, in: *Schweizer Ingenieur und Architekt*, 1979, Nr. 38, S. 739 ; S.741, <http://doi.org/10.5169/seals-85538>.

¹³ Siehe. Züblin-Archiv, ETH Zürich, Archivale: ZUEB-B-257.

Freivorbauten eine Symmetrie der Kragarme erforderlich ist, ergaben sich die Orte der angrenzenden Pfeiler in einem Abstand von je 140m.¹⁴ Der Freivorbau beschreibt eine Bauweise, bei der von einem Pfeiler aus in beide Richtungen gleichzeitig gebaut wird. Um eine einseitige Belastung zu verhindern, fahren zwei Freivorbauwagen im Takt vom Pfeiler los.

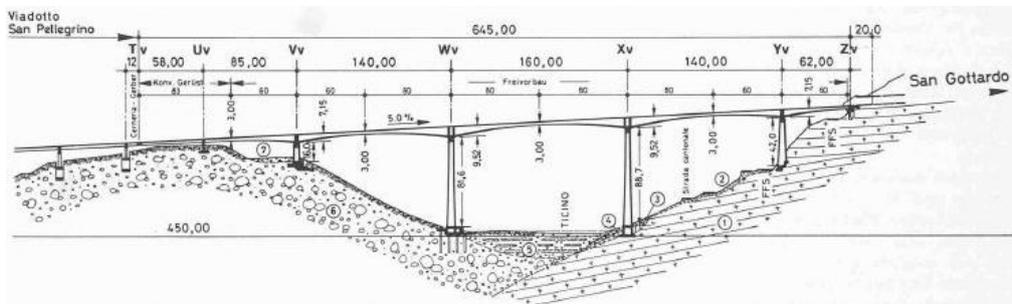


Abbildung 3: Längsschnitt durch den Boden mit Foundation

1.2.2. Die Fundationen

Nach der Auswahl der Standorte musste bei der Foundation der einzelnen Pfeiler auf die geologischen Gegebenheiten geachtet werden, die in diesem Tal sehr unterschiedlich sind. Wie in Abbildung 3 sichtbar ist, besteht der Untergrund aus zwei verschiedenen Gesteinstypen. Diese sind durch zwei aufeinanderfolgende Bergstürze entstanden, welche sich kurz nach dem Rückzug des Würmgletschers ereigneten. Die Seite links vom Flussbeet enthält heterogenes Bergsturzmateriale mit groben Gesteinsbrocken. Auf der anderen Seite in Richtung St. Gotthard handelt es sich um Gneis. Das ist Gestein, welches bei hohem Druck oder Temperaturen entsteht.¹⁵ Es wurde eine Voruntersuchung durchgeführt, um eine Kalkulationsbasis für den Wettbewerb und die dazugehörigen Kostenschätzung zu haben. Für die Detailplanung der Fundamente war eine Bodensondierung an den Standorten der Pfeiler nötig, um die Eignung des Bodens für die vorgesehene Foundation festzustellen.¹⁶

Um den Pfeiler X zu betonieren, wurde zuerst eine unabhängige Baugrube erstellt, in der die Felsoberfläche freigelegt werden musste. Anschliessend wurde die Grube bis zum Fundamentknoten mit Füllbeton ausgefüllt. Sowohl das Pfeilerpaar X, als auch das Pfeilerpaar Y wurde danach direkt auf den Felsen fundiert. Für die nah beieinander stehenden Pfeilerpaare V und W wurde eine grosse gemeinsame Fundamentkonstruktion für die Tal- und Bergseite gewählt, also Vv und Vm zusammen (siehe Abb.4) und Wv und Wm. Das Pfeilerpaar V bekam eine Flachfundation, während das Pfeilerpaar W als Tieffundation mit 40 Pfählen ausgeführt wurde (siehe Abb. 5). Guzzi argumentiert: „Bei ähnlichen Kosten bringt die Pfahllösung eine Reihe von ausführungstechnischen Vorteilen, wie weniger Hanganschnitte, kleinere Grundfläche, keine Wasserhaltung und kein Ersatz von nicht genügend tragfähigem Bodenmaterial.“¹⁷

17

¹⁴ Vgl. Ugo Guzzi, Bernhard Meier, Viadotto della Biaschina, in: *Schweizer Ingenieur und Architekt*, 1979, Nr. 38, S. 741–742, <http://doi.org/10.5169/seals-85538>.

¹⁵ Vgl. Ebd., S. 740–741.

¹⁶ Vgl. Ebd., S. 742.

¹⁷ Vgl. Ugo Guzzi, Bernhard Meier, Viadotto della Biaschina, in: *Schweizer Ingenieur und Architekt*, 1979, Nr. 38, S. 741–742, <http://doi.org/10.5169/seals-85538>.



Abbildung 4: Doppelfundament, Pfeiler V

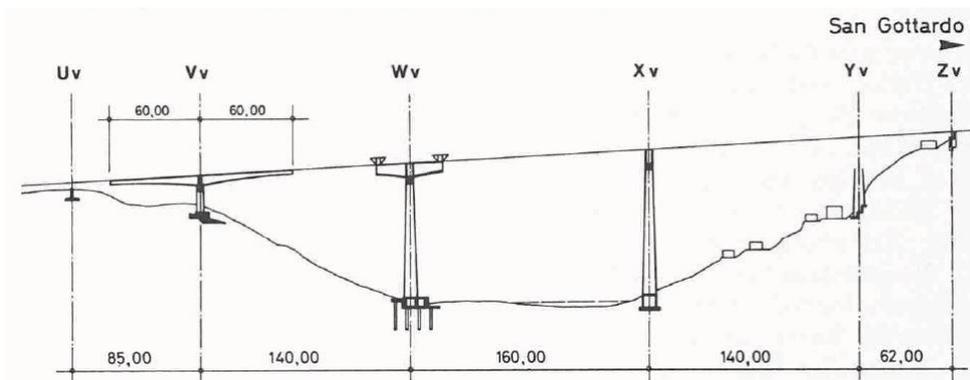


Abbildung 5: Planung der Foundation

1.2.3. Die Pfeiler

Die Pfeiler sind als Hohlkästen ausgebildet. Wegen der hohen Windlasten bekamen die Pfeiler eine Verstärkung an den Ecken und einen radialen Anzug, welcher ihr Aussehen prägt.¹⁸ „Um die elegante Wirkung der Pfeiler weiter zu verstärken“¹⁹, wie Guzzi es beschreibt, wurden sie zusätzlich profiliert (siehe Abb. 6). Die niedrigeren Pfeiler (V und Uv) haben einen gleichbleibenden Querschnitt von 8.5m Pfeilerfußbreite und Pfeilerfußlänge 10m, während die anderen nach oben radial schmaler werden (siehe Abb. 8). Die Mittelstützen W und X sind im Brückenträger eingespannt und geben dem Brückensystem die nötige Stabilität in Längsrichtung (siehe Abb. 9). Die Brücke liegt an den äusseren Stützen V und Y nicht direkt auf, sondern auf Rolllagern (siehe Abb. 6 und 7). Die Stabilität in Querrichtung wird durch die Pfeiler und die Wiederlager zusammen gewährleistet. Die Pfeiler machen zusammen mit ihrer Foundation die Hälfte des

¹⁸ Vgl. Fumagalli/Disch 1996, Bd. 3., S. 232.

¹⁹ Ugo Guzzi, Bernhard Meier, Viadotto della Biaschina, in: *Schweizer Ingenieur und Architekt*, 1979, Nr. 38, S. 742, <http://doi.org/10.5169/seals-85538>.

Gesamtgewichtes des Viaduktes aus und das, obwohl die Wandstärke der Pfeiler nur 35cm beträgt (siehe Abb. 9).²⁰ Wie auf der Abbildung 6 zu sehen ist, besitzen die Pfeiler horizontale Linien, welche vom Betoniervorgang herrühren.



Abbildung 6: Ansicht Pfeiler Ym mit Profilierung



Abbildung 7: Untersicht Viadotto della Biaschina vorne auf Rolllagern, hinten eingespannte Pfeiler

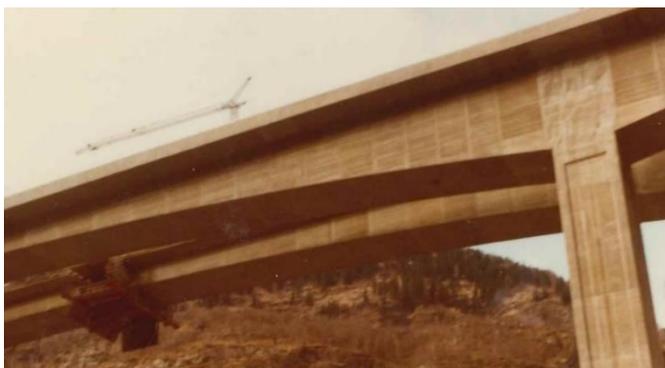


Abbildung 8: Brückenträgerschluss mit eingespanntem Pfeiler

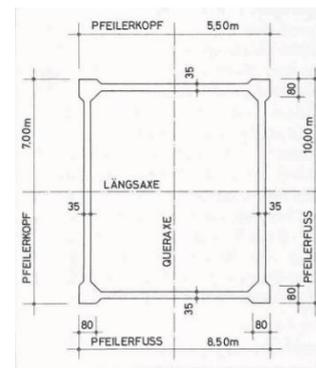


Abbildung 9: Pfeilerquerschnitt

1.2.4. Der Brückenträger

Die Form des Trägers spielt bei Spannweiten von 160m, beziehungsweise 140m eine wichtige Rolle. Da das Gewicht des Betons Auswirkungen auf den Kräfteverlauf im Bauwerk hat, werden schlanke Ausführungen, wie in diesem Fall der Hohlkastenträger, vorgezogen. Der Träger muss aber genug Masse haben, um alle auftretenden Kräfte aufnehmen zu können. Die geschwungene Unterkante wurde gewählt, um eine konstante Stegschubspannung sicher zu stellen.²¹ Eine gleichbleibende Stegschubspannung ist weniger anfällig für Torsionen und Scherbelastungen. Die Kraftverläufe entsprechen der Bogenform des Brückensteiges. Dadurch wird weniger Material benötigt um die Kräfte umzulenken.²² Diese kraftbedingte Form hat ausserdem einen weiteren Vorteil. Es wird, „ein sehr einfacher Verlauf der Vorspannkabel

²⁰ Vgl. Ugo Guzzi, Bernhard Meier, Viadotto della Biaschina, in: *Schweizer Ingenieur und Architekt*, 1979, Nr. 38, S. 742, <http://doi.org/10.5169/seals-85538>.

²¹ Vgl. Fumagalli/Disch, 1996, Bd. 3, S. 232.

²² Siehe Spura 2019.

erreicht²³, wie Guzzi erklärt (siehe Abb. 10). Einzig an den Rändern mussten parabelförmig Vorspannkabel benutzt werden, da dort die Krümmung zu gross war, um gerade Kabel zu verwenden. Die Kabel des Freivorbauanteils, welche die negativen Momente²⁴ aufnehmen, sind in der Fahrbahnplatte angeordnet. Die Kontinuitätskabel befinden sich nur in der unteren Platte, was einen schlanken Steg ohne Vorspannkabel ermöglicht. Um die Kabel so anordnen zu können und von den Vorteilen des Kräfteverlaufes zu profitieren, war eine gut durchdachte Form des Brückenträgers nötig. Die Verbindung der beiden Kragarme wurde mittels Fuge bewerkstelligt (siehe Abb. 11), da eine monolithische Verbindung eine höhere Sicherheit für das Gesamtsystem bedeutet, im Gegensatz zu einer gelenkigen Verbindung.²⁵ Der Träger funktioniert dadurch nach dem Fugenschluss wie ein Bauteil. Der Hohlkastenträger hat eine Breite von 7m und variiert in der Höhe. Die Fahrbahn ist an einigen Stellen fast doppelt so breit. Bei der Fahrbahnplatte wurden die Spannweitenverhältnisse so gewählt, dass auf eine Quervorspannung verzichtet werden konnte. Die Freivorbau-Vorspannung ist symmetrisch, somit wurde für beide Etappen rechts und links vom Pfeiler das gleiche Kabel zum Vorspannen genutzt (siehe Abb. 12).²⁶

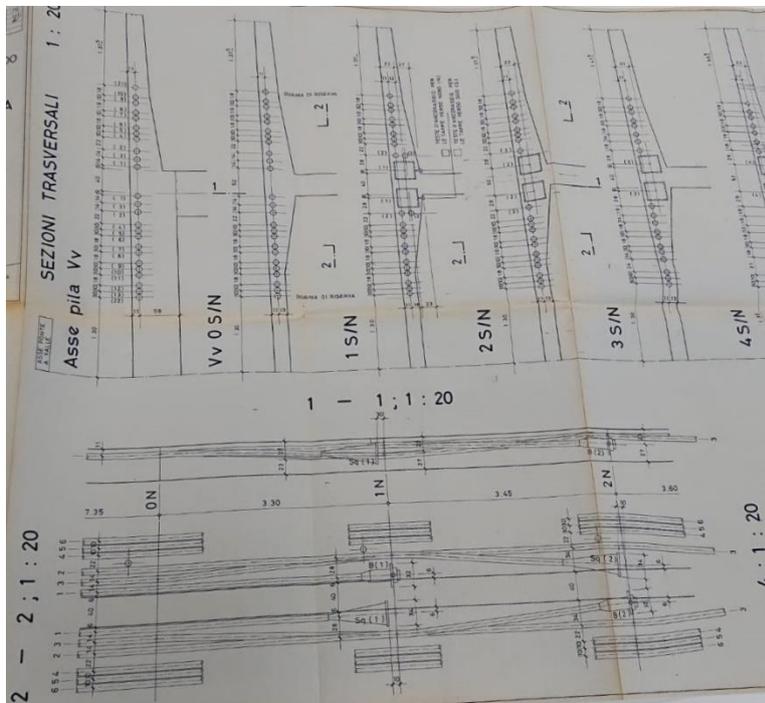


Abbildung 10: Plan der Armierung innerhalb des Brückenträgers

²³ Ugo Guzzi, Bernhard Meier, Viadotto della Biaschina, in: *Schweizer Ingenieur und Architekt*, 1979, Nr. 38, S. 743, <http://doi.org/10.5169/seals-85538>.

²⁴ Ein Moment ist Kraft x Hebel an einem bestimmten Punkt. Momente sind dann negativ, wenn sie im Urzeigersinn wirken.

²⁵ Vgl. Ugo Guzzi, Bernhard Meier, Viadotto della Biaschina, in: *Schweizer Ingenieur und Architekt*, 1979, Nr. 38, S. 743, <http://doi.org/10.5169/seals-85538>.

²⁶ Vgl. Ebd., S. 743.



19101983229

Abbildung 11: Fuge im Brückenträger



Abbildung 12: Symmetrischer Freivorbau

2. Schalungssysteme

In diesem Abschnitt werden der Bauvorgang und das Schalungssystem des Viadotto della Biaschina erläutert. Dadurch soll ein vertiefter Einblick ins Material Beton und dessen Anwendung ermöglicht werden. Ausserdem soll es eine Hilfestellung sein für den späteren Vergleich mit anderen Brücken der Schweiz. Mit Hilfe der Pläne aus dem Züblin-Archiv ist eine Rekonstruktion des Bauvorgangs der Träger gut möglich. Die Bauart der Fundamente und der Pfeiler wird im Folgenden hergeleitet.

2.1. Bauvorgang des Viadotto della Biaschina

Wie bei den meisten Brücken wurde auch hier mit den Fundamenten begonnen, danach folgte die Konstruktion der Pfeiler und zuletzt wurde der Brückenträger mit der Fahrbahn gebaut. Über die Foundationen ist aus dem von Ugo Guzzi und Bernhard Meier verfassten Bericht der Zeitung *Schweizer Ingenieur und Architekt* bekannt, dass die Pfeiler Uv, Xv, Ym und Yv ein Einzelfundament erhalten haben. Die Pfeilerpaare W und V erhielten ein Doppelfundament aufgrund der Nähe zueinander. Für den Pfeiler Xm wurde wie im Abschnitt 1.2.2 beschrieben eine unabhängige Baugrube erstellt. Um das Ausführungsrisiko zu minimieren, ist eine dichte, rückverankerte Sekanten-Pfahlwand erstellt worden.²⁷ Bis auf die Foundation des Pfeilerpaars W sind alle anderen Flachfundationen. Beim Pfeilerpaar W entschieden sich die Planer für eine Pfahlösung, nach der Erstellung des detaillierten geologischen Berichtes und der damit bestätigten Machbarkeit einer Pfahlfundation. Die Gründung der Fundamente wird hier nicht weiter behandelt, da keine Pläne auffindbar waren.

Bei der Untersuchung des Züblin-Archivs fand sich ein Plan, welcher den geplanten Bauvorgang in acht Phasen unterteilt (siehe Abb.13 und 14). Die Foundation wurde dabei nicht erwähnt. Als erste Überschrift stand „Pfeilerkopf“²⁸, womit vermutlich ein Sockel für ein Klettergerüst gemeint ist, der auf das zuvor betonierte Fundament des Pfeilers kommen soll (siehe Abb. 17). Der zweite und dritte Punkt sind „Grundetappe über Pfeiler“²⁹. Dies sind die Betoniervorgänge. Dabei wird einmal eine Druckplatte mitbetoniert, einmal nicht. Obwohl die vierte Phase den gleichen Namen wie die vorherigen beiden hat, ist hier ein entscheidender Punkt erreicht. Hier wird der so genannte Pfeilertisch betoniert, welcher für die spätere Montage eines Freivorbauwagens benötigt wird und als Basis für das Weiterbetonieren fungiert. Als nächstes wird der Freivorbauwagen montiert. In der sechsten Phase wird der untere Teil der Grundetappe ausserhalb des Pfeilers betoniert. In der darauffolgenden Etappe der obere Teil.³⁰ Danach kommt die achte und letzte Phase, die „Normale Freivorbauetappe“³¹, welche bis zum Zusammentreffen der beiden Freivorbauwagen in der Mitte wiederholt wird.

Im Folgenden werden die beiden beschriebenen Bauphasen genauer betrachtet.

²⁷ Vgl. Ugo Guzzi, Bernhard Meier, Viadotto della Biaschina, in: *Schweizer Ingenieur und Architekt*, 1979, Nr. 38, S. 742, <http://doi.org/10.5169/seals-85538>.

²⁸ Vgl. Züblin-Archiv, ETH Zürich, Archivale: ZUEB-B-257, Plan AV2104/17e.

²⁹ Vgl. Ebd.

³⁰ Vgl. Ebd.

³¹ Vgl. Ebd.

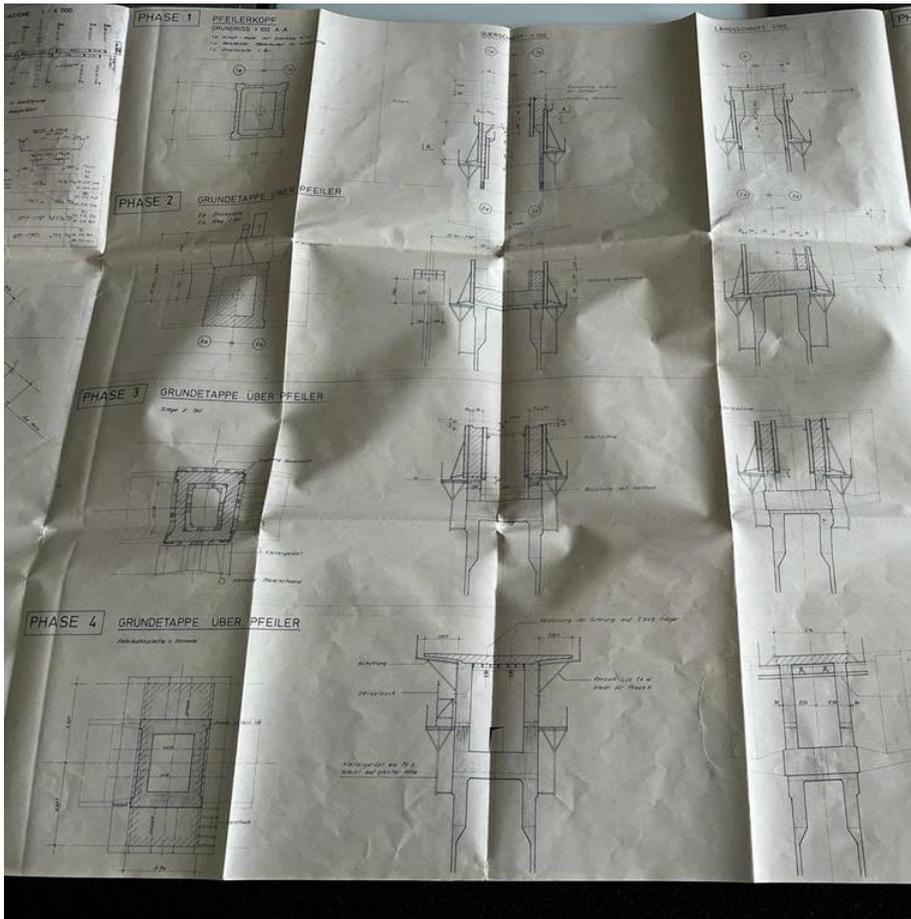


Abbildung 13: Plan Bauvorgang 1. – 4. Phase

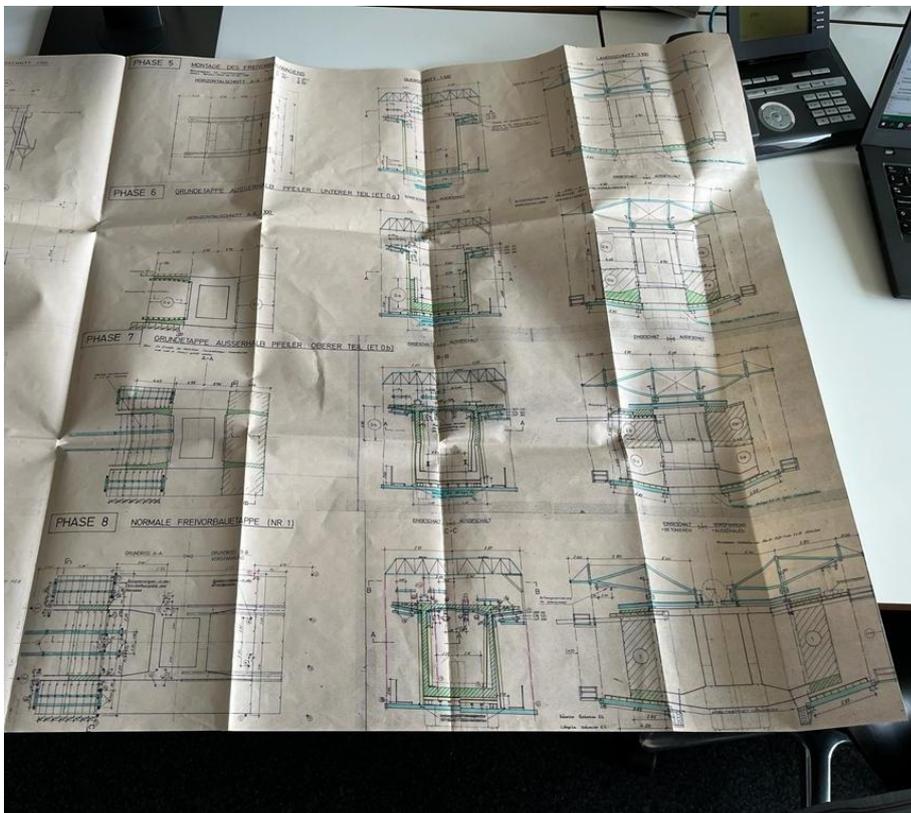


Abbildung 14: Plan Bauvorgang 5. – 8. Phase

2.2. Bau der Pfeiler

Für die Erstellung der Pfeiler waren so gut wie keine Pläne im Archiv vorhanden, weshalb hier eine andere Herangehensweise für die Ermittlung der Konstruktionsmethode angewendet wurde. Im Folgenden wird die Bauweise empirisch erforscht, anhand der vorhandenen Baustellenfotos, Pläne und der Fachliteratur zum Thema Schalungen.

2.2.1. Betonierungsart des Pfeilers

Ein erster Hinweis waren hier die Baustellenfotos (siehe Abb. 15 und 16), welche unter anderem auch den Betoniervorgang der Pfeiler dokumentierten. Darauf war eine Schalung zu erkennen, die nicht von allen Seiten ein Gerüst hatte, sondern nur einen Kran, welcher zum Teil im Pfeiler steckte (siehe Abb. 15 und 16). Bei der Suche in den Plänen war eine Zeichnung mit der Notiz „Kletterkran“ zu finden.³² Auch war in einem Plan, welcher für das Tessiner Strassenverkehrsamt bestimmt war, der vorläufig geplante Arbeitsprozess aufgezeichnet. Dieser enthielt eine Skizze mit dem Wort Klettergerüst. Daher war der Blick in die Literatur und die Suche nach einer Definition der nächste Schritt. Am plausibelsten war eine Kletterschalung. Nach Dr Ing Franz Böhm heisst es, dass eine Mehrheit der von ihm aufgeführten zehn Kriterien erfüllt sein muss, um die Schalung als Kletterschalung bezeichnen zu können.³³ Nach eingehender Betrachtung dieser Kriterien, treffen sechs von zehn auf die Pfeiler zu. Einige der genannten Merkmale sind zeitlich und können daher nicht anhand von Fotos und Plänen identifiziert werden. Nachfolgend werden die zehn Kriterien aufgeführt und den Ergebnissen aus der Auseinandersetzung mit dem vorhandenen Material gegenübergestellt.

Böhm argumentiert, dass es eine bewegliche Schalung sein muss. Die auf den Baustellenfotos erkennbare Schalung scheint beweglich zu sein, da keine Gerüste zu sehen sind, stattdessen so etwas wie eine Hilfskonstruktion. Die Schalung soll sich, nach Böhm, in die Vertikale bewegen. Die horizontalen Fugen lassen auf eine vertikale Bewegung schliessen. Böhm macht darauf aufmerksam, dass das Mass der Kletterschritte immer gleich gross ist. Die Abstände der horizontalen Betonierfugen sind gleich gross. Der Steigerhythmus soll, laut Böhm, in gleichen Zeitintervallen durchgeführt werden. Der zeitliche Aspekt kann nicht festgestellt werden, da es sich bei den Fotos nur um Momentaufnahmen handelt. Aus der Sicht von Böhm klettern die in den beiden Schalungshäuptern gegenüberliegenden Elemente parallel und meist auch im gleichen Arbeitstakt, selten im Wechselschritt. Die Schalung, die auf den Fotos zu sehen ist, sieht parallel aus, beziehungsweise auf der gleichen Höhe. Der Arbeitstakt ist jedoch nicht nachvollziehbar. Die beiden Schalungshäupter müssen sich bezüglich Tragfähigkeit, Aussteifungen und Verankerungen entsprechen, aber nicht unbedingt kongruent konstruiert sein, meint Böhm. Es ist nicht ersichtlich, wie die Schalungshäupter konstruiert wurden. Bei Böhm ist eine Kletterschalung eine rüstungsfreie Schalung, die häufig mit eigenem, mitkletterndem Arbeitsgerüst ausgestattet ist. Der vermerkte Kletterkran wächst mit der Schalung und wird nach einigen Etappen wieder verankert. Laut Böhm soll die Schalung nicht nennenswert abgeändert oder umgebaut werden während der Zeit des Einsatzes. Die Schalung wird nicht gross verändert worden sein, da die Pfeiler eine konstante Form haben, die lediglich ein bisschen schmaler wird nach oben. Die Schalung ist allgemein grossflächig konstruiert, vor allem im Sinne einer weit

³² Vgl. Züblin-Archiv, ETH Zürich, Archivale: SPAL-E-055, Plan N. 04.

³³ Vgl. Böhm 1957, S. 713.

freitragenden Unterstützung, so Böhm. Die Fläche der Pfeiler pro Betonierabschnitt ist nicht wirklich gross, dafür ist er sehr hoch. Böhm geht davon aus, dass die Schalung, die Unterstützungsstruktur, die Aussteifung und die Verbindungsmittel aufeinander abgestimmt sind und dem Zweck untergeordnet, die Umsetzvorgänge zu vereinfachen. Die Schalungspläne waren leider nicht im Archiv auffindbar, weshalb unklar ist, aus welchen Teilen die Schalung bestand.³⁴

Mit der Tatsache, dass in diesem Zeitraum viele Stahlbetonbauten bewegliche Schalungen nutzten, um ihre Erstellungskosten tief zu halten, und den Hinweisen aus den Plänen, kann geschlossen werden, dass die Pfeiler für die Brücke mit einer Kletterschalung betoniert wurden.



Abbildung 15: Pfeiler mit Rüstung und Schalung



Abbildung 16: Pfeiler mit Kletterkran

2.3. Kletterschalungen

Die Kletterschalung besteht aus biege- und verwindungsfesten Elementen. Diese sind aufgrund der Handlichkeit meist ca. 3m hoch und 3-5m breit.³⁵ Kleinere Betonieretappen als 3m werden nur in den seltensten Fällen durchgeführt. Bei grösseren Etappen wird die Handhabung schwierig und ein grosser Kran ist notwendig. Die Kletterschalung besteht aus zwei Teilen, einerseits der Schalung selbst, andererseits aus dem Kletterwerk. In den meisten Fällen werden zwei Schalungssätze für die Kletterschalung benutzt, die abwechselnd hochklettern.³⁶ Beim Viadotto della Biaschina kann vermutet werden, dass ein Arbeitsgerüst genutzt wurde, welches von der Schalung getrennt werden konnte, da es sich um über 8 Klettorgänge handelt.³⁷ Das Kletterwerk kann dabei ein Kletterkran sein, der die Schalung in die nächste Etappe hebt, oder eine Kletterautomatik.³⁸ Mehlhorn erklärt wie folgt: „Die Kletterautomatik funktioniert nach dem Schreitwerkprinzip und besteht neben dem Selbstklettergerüst aus einer Kletterstange oder einem Kletterrahmen. Das selbstständige Klettern erfolgt mittels hydraulischen Hubwerks, welches sich auf die Kletterschiene oder den Kletterrahmen abstützt und das Klettergerüst nachzieht.“³⁹ Das wird von der Abbildung 8 veranschaulicht. Beim Betonieren mit einer Kletterschalung ist es nötig, zuerst einen

³⁴ Vgl. Böhm 1957, S. 713.

³⁵ Vgl. Ebd., S. 714.

³⁶ Vgl. Ebd., S. 725.

³⁷ Vgl. Ebd., S. 723.

³⁸ Vgl. Mehlhorn/Curbach (Hsg.) 2014, S.1046.

³⁹ Mehlhorn/Curbach (Hsg.), *Handbuch Brücken Entwerfen, Konstruieren, Berechnen, Bauen und Erhalten*, Kassel u.a., 2014, S. 1046.

Sockel zu betonieren, um Platz für die vertikal auskragenden Elemente zu bieten und um einen unteren Anschluss zu generieren. Bei der nächsten Etappe kann dann die Kletterschalung montiert werden.⁴⁰ Nach dem Ausschalen der Etappe klettern die Schalungen zum nächsten Abschnitt. Währenddessen können Nacharbeiten am ausgeschalteten Beton vorgenommen werden und die Bewehrung für die nächste Etappe eingelegt. Danach wird wieder betoniert. Das Klettern muss nicht, aber kann, von allen Seiten gleichzeitig passieren. Auch klettern die einzelnen Wandseiten oft nacheinander, da so die Arbeit besser verteilt werden kann. Der Takt ist durch die Erhärtungszeit des Betons vorgegeben. Bei Temperaturen von über 15°C und der Verwendung von Normzement ohne Abbindeverzögerer trocknet der Beton innerhalb von 48h, danach kann weiter geklettert werden.⁴¹ Daher bietet es sich oft an, während der Woche die Vorbereitungen zu treffen, am Freitag zu betonieren und am Wochenende den Beton erhärten zu lassen. Bei der Kletterschalung ist die konsequente Taktarbeit wichtig, da sonst die Lohnkosten schnell steigen können. Dabei sind die Schalung und Bewehrung die Hauptarbeiten.⁴²



Abbildung 17: Pfeilerbau mit Kletterkran (links) und Sockelbetonierung (rechts)

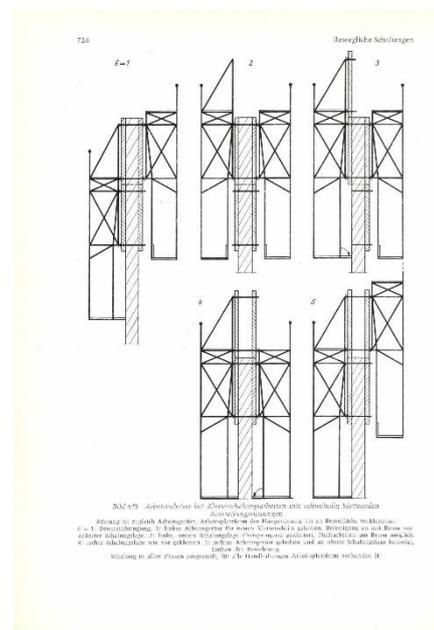


Abbildung 18: Prinzip der selbstkletternden Kletterschalung

2.4. Bau des Brückenträgers

Über den Bau des Brückenträgers waren sehr viele Pläne im Züblin-Archiv vorhanden. Für die Erstellung der Fahrbahn, beziehungsweise den Brückenträger des Biaschina-Viaduktes, wurde das Freivorbauverfahren genutzt. Das ist eine in dieser Zeit oft genutzte Bauweise für Brücken.⁴³ „Freivorbaubrücken eignen sich bei großen Spannweiten, schwierigen topographischen Verhältnissen und großer Brückenhöhe. Die Brückenlänge spielt keine Rolle.“⁴⁴, betonen Eugen Brühwiler und Christian Menn.

⁴⁰ Siehe Böhm 1957.

⁴¹ Vgl. Böhm 1957, S. 723.

⁴² Vgl. Ebd., S. 725.

⁴³ Vgl. Brühwiler/Menn 2003, S. 22–24.

⁴⁴ Brühwiler/Menn, *Stahlbetonbrücken*, Wien, 2003, S. 392.

2.5. Freivorbauverfahren

Beim Freivorbauverfahren wird auf dem Pfeiler zuerst ein Pfeilertisch erstellt. Das ist die Etappe 0. Von da aus montiert man einen kranartigen Überbau in Form eines Vorbauwagens. Dieser ist beidseitig symmetrisch an dem Pfeiler angeordnet und wird so dann bis zur Mitte zwischen den zwei Pfeilern vorgeschoben und betoniert so den Träger. Die Pläne des Vorbauwagens, welcher für diese Brücke benutzt wurde, sind in den Abbildung 20 und 22 zu finden. Der Vorbauwagen ist dabei die Schalung und Rüstung des jeweiligen Betonierabschnittes und trägt das Gewicht des frischen Betons mit. Nach dem Erhärten des Betons und dem Vorspannen der Kabel, wird der Vorbauwagen nach vorne verschoben, um den neuen Abschnitt zu betonieren (siehe Abb. 19). Die Montage des Vorbauwagens muss auf dem Pfeiler selbst passieren, da eine am Boden zusammengesetzte Rüstung viel zu schwer ist, um sie dann nach oben zu ziehen.⁴⁵ Bei der Ausführung dieser Art von Rüstungen werden die Momente und Querkräfte aus dem vorkragenden Betonabschnitt auf den hinteren, schon fertiggestellten, Brückenteil übertragen.⁴⁶ Es ist wichtig, dass der Vorschub der Schalungen in beide Richtungen gleich schnell passiert, da sonst das System aus dem Gleichgewicht kommt.⁴⁷

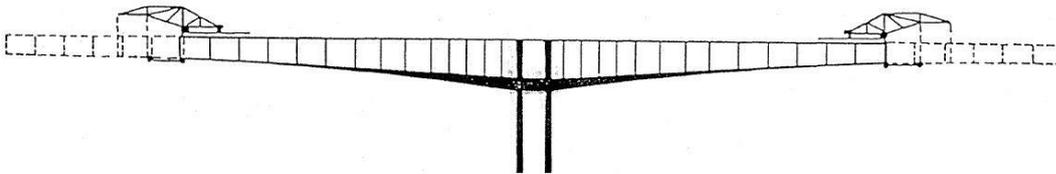


Abbildung 19: Prinzip Freivorbauverfahren

Die Betonierabschnitte sind in der Regel zwischen 3–5m lang. Diese Technik wurde beim Viadotto della Biaschina genutzt, da es hier grosse Spannweiten zu überbrücken gab und die Brücke über eine Kantonsstrasse und schwieriges Terrain führt. Ausserdem lässt sich durch diese Bautechnik die Bauzeit verkürzen, indem man bei mehreren Pfeilern gleichzeitig mit dem Vorbau anfängt.⁴⁸ Diese Bauweise ist auch deshalb sehr wirtschaftlich, da die Schalung mehrfach verwendet werden kann ohne grosse Anpassungen. Auch ist der Arbeitsaufwand relativ klein, da durch das Taktschieben eine gewisse Routine entsteht.⁴⁹ Diese Bauweise ist typisch für Ortsbetonkonstruktionen, auch weil kleinere Krümmungen, wie diese beim Viadotto, kein Problem für die Rüstung darstellen, da diese einfach geschwenkt werden können.

Während des Bauvorgangs funktioniert die Brücke statisch gesehen als Kragarmträger. Im Endzustand ist die Brücke in diesem Fall als Durchlaufträger konzipiert.⁵⁰

⁴⁵ Vgl. Brühwiler/Menn 2003, S. 457.

⁴⁶ Vgl. Ebd., S. 448.

⁴⁷ Vgl. Ebd., S. 417.

⁴⁸ Vgl. Ebd., S. 392.

⁴⁹ Vgl. Ebd., S. 416.

⁵⁰ Vgl. Mehlhorn/Curbach (Hsg.) 2014, S. 995.

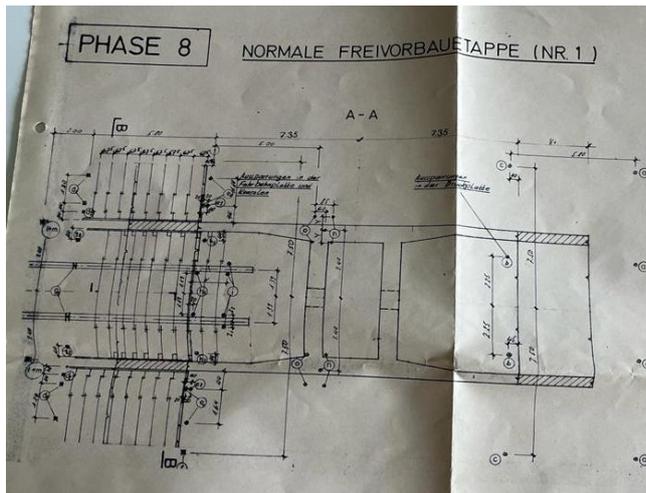


Abbildung 20: Freivorbauwagen im Grundriss

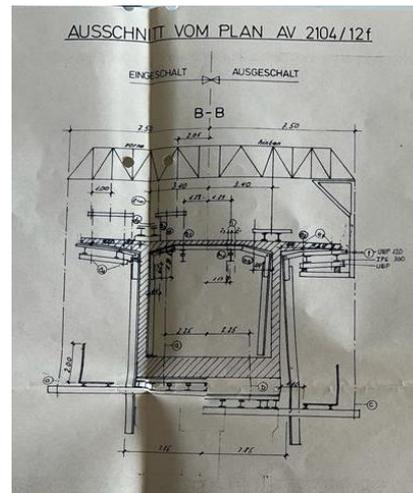


Abbildung 21: Freivorbauwagen, Ansicht von vorne

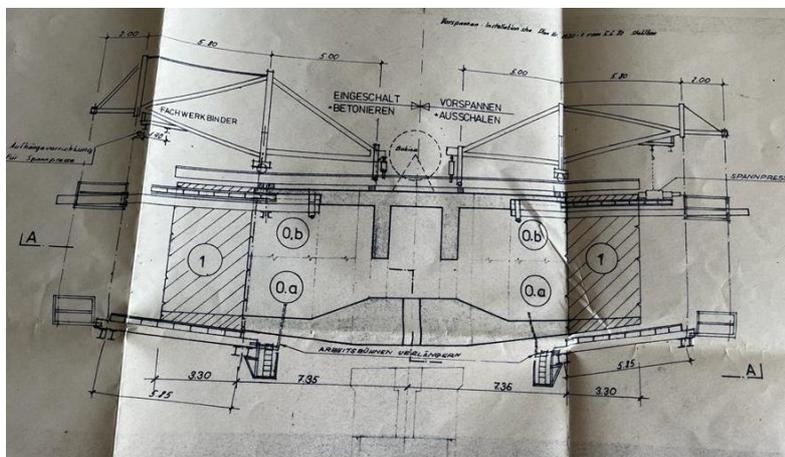


Abbildung 22: Freivorbauwagen, seitliche Ansicht

2.5.1. Bewegen des Freivorbauwagens

Der Freivorbauwagen muss für die einzelnen Betonierabschnitte bewegt werden. Dies passiert allerdings nicht durch Muskelkraft, sondern mit Hilfe einer so genannten Laufkatze. Diese Technik benutzte die Firma PERI AG beim Bau des Biaschina-Viaduktes. Sie waren damals für den Bau des Vorbauwagens zuständig. Die Laufkatze besteht aus einer Klaue und einem Fahrwerk, welche beide an einem Stahlträger befestigt sind. Somit liegt der Freivorbauwagen nicht direkt auf der Grundetappe, sondern auf den Stahlprofilen. Die Klauen sind vorne, während die beweglichen Fahrwerke hinten angeordnet sind. Das Fahrwerk bewegt sich dann als Ganzes nach vorne zu der nächsten Etappe wie im Plan (Querschnitt C) zu sehen ist (siehe Abb. 23).

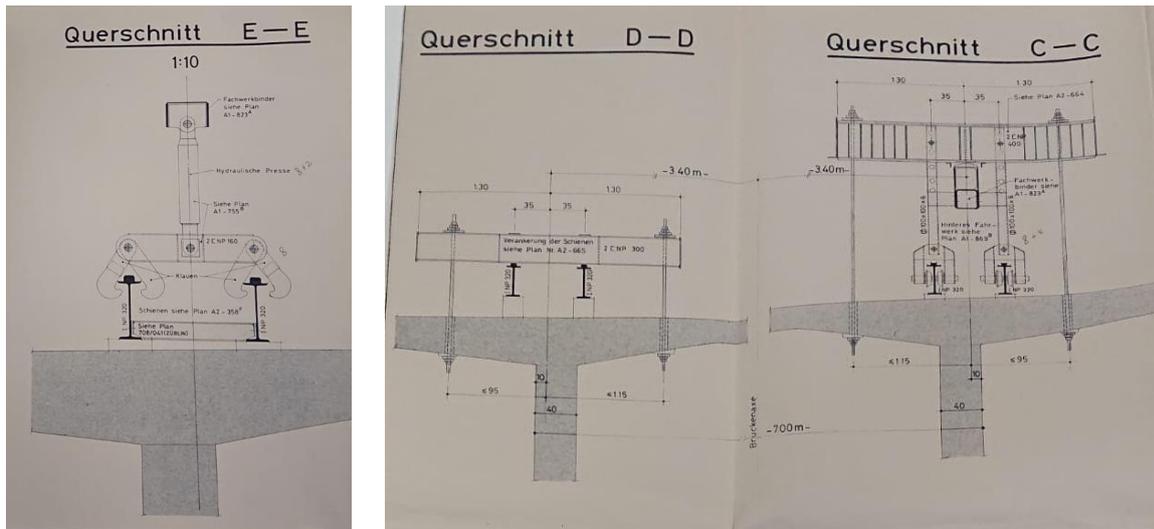


Abbildung 23: Detail zum Freivorbauwagen.

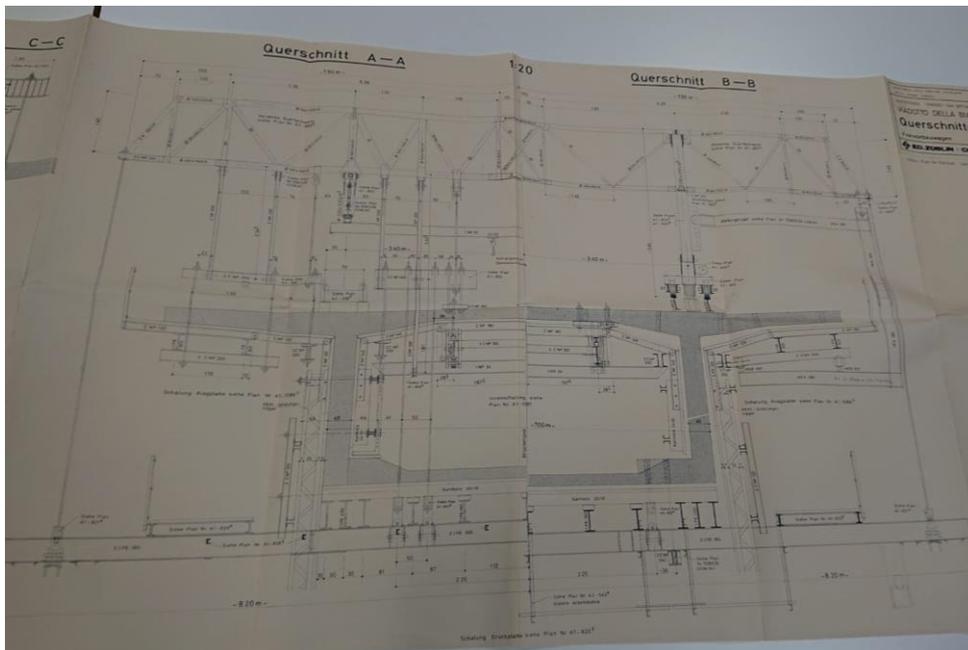


Abbildung 24: So sieht der komplette Freivorbauwagen aus

2.5.2. Vorgehen beim Einrüsten der Innenschalung

Aufgrund eines vorhandenen Plans aus dem Archiv ist klar, wie beim Betonieren der Innenseite des Hohlträgers im Detail vorgegangen wurde. Zuerst wurde die Druckplatte armiert. Danach konnte die innere Schalung vorgefahren werden. Als nächstes wird die Fahrbahnplattenschalung aufgerichtet und die Wandteile armiert. Sobald die Armierung beendet ist, kann die Wandschalung verschoben und gebunden werden, währenddessen die Fahrbahnplatte armiert wird. Anschliessend werden die Ecken, die Druckplatte und die Stirnfugen abgeschalt. Nun kann betoniert werden. Jetzt beginnt das Ausschalen, als erstes die Abschaltungen, dann die innere Wandschalung. Nachdem alles ausgeschalt ist, werden die Kabel vorgespannt. Danach können die Konsol- und

Druckplattenschalung abgesenkt und der Freibauvorwagen verschoben werden. Zuletzt kann die Fahrbahnplattenschalung abgesenkt werden und der Prozess beginnt erneut.⁵¹

Auffällig ist, dass zuerst die Druckplatte, dann die Wände und danach die Fahrbahnplatte des Hohlkastens armiert wurden. Diese Aufteilung deutet darauf hin, dass alle drei Armierungen von den gleichen Arbeitern gemacht wurden, da sonst ein gleichzeitiges Armieren auch möglich gewesen wäre. Ausserdem wurden die Kabel nicht unter Zug betoniert, sondern erst nach dem Betonieren vorgespannt.

2.6. Fahrbahn

Für die Erstellung der Fahrbahn gab es keine Hinweise im Archiv. Um ein vollständiges Bild der Autobahnbrücke als Ganzes zu erhalten, wird im Folgenden ein übliches Vorgehen für die Erstellung der Fahrbahn erläutert. Für die Fahrbahnen wird nach der Grundierung oder Kratzspachtelung der Betonoberfläche eine Dichtungsschicht auf den Beton aufgetragen, welche meistens aus Bitumen besteht. Darauf kommt eine Schutzschicht aus Gussasphalt, worauf dann die Deckenschicht in Form von Asphaltbeton gegossen wird.⁵² Die beiden ersten Schichten dienen der Abdichtung, so dass der Asphaltbeton nicht „unterläufig werden kann.“⁵³ Beim Bau der Fahrbahn muss auch auf die Fahrbahnübergänge geachtet werden. Das sind Fugen zwischen der Brücke und der anschliessenden Fahrbahn. Diese sollen die Bewegungen, welche durch Temperaturschwankungen oder Lastenveränderung entstehen, auffangen. Dabei müssen diese Teile leicht ersetzbar sein, da es sich um Verschleissteile handelt.⁵⁴ Bei der Planung werden diese mit den Lagern zusammen geplant und angelegt, um Verschiebungen oder Verdrehungen dieser zu verhindern.⁵⁵

⁵¹ Vgl. Züblin-Archiv, ETH Zürich, Archivale: ZUEB-B-257, Plan AV2104/42.

⁵² Vgl. Mehlhorn & Curbach 2014, S. 1131–1132.

⁵³ Mehlhorn/Curbach, *Handbuch Brücken Entwerfen, Konstruieren, Berechnen, Bauen und Erhalten*, Kassel u.a., 2014, S. 1131.

⁵⁴ Vgl. Mehlhorn/Curbach (Hsg.) 2014, S. 1132.

⁵⁵ Vgl. Ebd., S. 1133.

3. Der Viadotto della Biaschina im Kontext Schweizer Vorspannstahlbetonbrücken von 1930 bis 1990

Hier wird das Viadotto della Biaschina in Bezug gesetzt zu anderen Autobahnbrücken der Schweiz und eingeordnet. Die zeitliche Abgrenzung der Bauart Vorspannbeton wird anhand der Brücken in der Schweiz gemacht. Bei der Betrachtung anderer Länder wäre eine andere Einteilung möglich. Hier wird der Fokus auf die Schweiz gesetzt.⁵⁶ Zu beachten ist, dass die Zeitperiode der Einfachheit halber gerundet wurde. Die Übergänge sind fließend, was die Verwendung der einzelnen Techniken angeht, und spätere oder frühere Beispiele für die Brückenbauweise sind möglich. Die Bauart kann in Ortsbeton gegossen oder mit vorgefertigten Teilen ausgeführt werden.

Die Technik hatte ihre Anfänge um das Jahr 1930 und orientierte sich in ihrer Form an Vorgängerbauten. Das waren hauptsächlich Steinbogenbrücken.⁵⁷ Die Stahlbetonbrücken zuvor waren als aufgelöste Bogen konstruiert worden.⁵⁸ Mit dieser Form konnten die Kräfte gut abgeleitet werden und dort, wo keine waren, konnte der Beton weggelassen werden (siehe Abb. 25). Einer der Ersten, der sich mit dem Vorspannbeton auseinandersetzte, war Eugène Freyssinet. Er hat mit Vorspannungen mit Hilfe des Spannbettverfahren (siehe Abb. 26) und mit Kabelvorspannungen experimentiert.⁵⁹ Die ersten vorgespannten Brücken aus Stahlbeton waren voll vorgespannt, verloren jedoch nach rund 25 Jahren bis zu 75% der ursprünglichen Vorspannung.⁶⁰



Abbildung 25: Gmündertobelbrücke, Teufen, Schweiz, 1908, Ingenieur Emil Morsch

In den 1960er Jahren erlebte die vorgespannte Stahlbetonbrücke ihren Boom in der Schweiz. Durch die Entwicklung von „Kabeln aus hochfesten profilierten Drähten“⁶¹ und der besseren Verankerung, und mit der daraus folgenden verbesserten Vorspannung, wurde diese Bauart konkurrenzfähig.⁶² Dabei wird von zwei Arten der Vorspanntechnik gesprochen. Beim Pre-tensioning oder auch Spannbettverfahren genannt, werden blanke profilierte Spannstähle in die Schalung verlegt und an Endkonsolen befestigt und gespannt (siehe Abb. 26). Danach wird betoniert und nach dem Erhärten des Betons

⁵⁶ Siehe Brühwiler/Menn 2003.

⁵⁷ Vgl. Brühwiler/Menn 2003, S. 8.

⁵⁸ Siehe Ebd.

⁵⁹ Vgl. Ebd., S. 23.

⁶⁰ Vgl. Ebd., S. 21–22.

⁶¹ Brühwiler/Menn, *Stahlbetonbrücken*, Wien, 2003, S. 24.

⁶² Vgl. Brühwiler/Menn 2003, S. 24.

werden die Endkonsolen entspannt. Diese Technik wird vor allem in der Präfabrikation von Betonteilen verwendet. Die Profilierung der Profile ist entscheidend für die Haftung des Betons an den Kabeln.⁶³



Abbildung 26: Spannbettverfahren in Fabrik

Beim Post-tensioning werden die Drähte und Kabel nach dem Erhärten des Betons gespannt. Dabei gibt es zwei Varianten, wie dies bewerkstelligt wird. Wenn die Spannglieder innen liegen, kann die Vorspannung mit oder ohne Verbund geschehen. Mit Verbund bedeutet, dass die Ankerplatten in den Beton eingelegt und mit einbetoniert werden (siehe Abb. 27). Nach dem Erhärten des Betons und dem Spannen der Kabel wird der Hohlraum der Ankerplatte mit Zementmörtel verschlossen. Die Spannglieder funktionieren als eine Einheit mit dem Beton und sind von aussen nicht mehr erkennbar. Die Spannglieder sind bei der Vorspannung ohne Verbund nicht mit dem Beton verbunden. Die Spannglieder können auch aussen angeordnet sein. Diese Art der Vorspannung ist vor allem im Brückenbau verbreitet.⁶⁴



Abbildung 27: Interne Kabelvorspannung mit Verbund im Steg

⁶³ Siehe Brühwiler/Menn, 2003.

⁶⁴ Siehe Prof. Dr. W. Kaufmann, *Vorlesung Stahlbeton II*, Frühlingsemester 2019, ETH Zürich, <https://kaufmann.ibk.ethz.ch/de/lehre/bachelorstudium/archiv/stahlbeton-i-ii/stahlbeton-ii.html>.

Die steigenden Lohnkosten im Baugewerbe führten dazu, dass die Bauweisen einfacher und rationaler werden mussten. Das Bauen von Lehrgerüsten wurde zu einem grossen Kostenpunkt beim Bau von Brücken, da diese meistens an schwierigen Orten wie Tälern oder Schluchten errichtet werden mussten. Der durch die Vorspanntechnik vereinfachte Freivorbau wurde dadurch zum vielverwendeten Vorgehen beim Brückenbau.⁶⁵ Die Formen der Brücken erlaubten es, dass die gleiche Schalung mit wenigen Änderungen für die ganze Brücke wiederverwendet werden konnte. Dies bedeutete auch eine Kosteneinsparung.⁶⁶

3.1. Vergleich mit anderen Brücken aus der gleichen Zeitperiode

Die Bauweise des Viadotto della Biaschina wird im Folgenden mit der längsten Autobahnbrücke der A2, der höchsten und der älteste Autobahnbrücke der Schweiz verglichen. Diese drei Brücken werden analysiert und die Bauweise mit der des Biaschina-Viaduktes verglichen.

Die längste Autobahnbrücke der A2 wurde gewählt, da die Entscheidung, die A2 bis nach Chiasso auszubauen, überhaupt zum Bau des Biaschina-Viaduktes führte. Ausserdem ist diese Brücke spannend, da sie auf geologisch schwierigem Untergrund liegt und ein Umgang damit interessante Lösungen hervorbringt.

Da der Viadotto della Biaschina eine der höchsten Autobahnbrücken der Schweiz ist, bot sich der Vergleich mit der grössten Autobahnbrücke an. Dadurch werden die Bau- und Konstruktionsentscheidungen sichtbar, die massgeblich von der Brückenhöhe beeinflusst wurden. Auch wird ersichtlich, wie die beiden Brücken auf die Höhe reagiert haben und ob ähnliche Muster erkennbar sind.

Bei der Ältesten Autobahnbrücke ist die Frage nach der Bauart der Punkt, welcher einen Vergleich untersuchenswert macht. Bei dieser Brücke gab es keine Vorgänger und die Ingenieure wussten nicht, was sich im Brückenbau dieser Art durchsetzen wird. Sie mussten anhand der Daten von Strassenbrücken eine statische Lösung für die neue Situation finden.

3.2. Die längste Autobahnbrücke der A2

Das Lehnenviadukt Beckenried ist mit 3148km die längste Autobahnbrücke der A2. Sie liegt bei Beckenried am Vierwaldstättersee im Kanton Nidwalden. Die Bauherrschaft war der Kanton Nidwalden.⁶⁷ Der Submissions-Wettbewerb fand 1971 statt. Die Jury empfahl die Arbeitsgemeinschaft Spaltenstein AG, Zürich, Ulrich Stamm AG, Basel, Bless AG, Zürich, Peikert AG, Zug-Element AG, Tifers-Bürgi AG, Hergiswil, Achermann+Würsch AG, Emmetten-, sowie den Ingenieurbüros D.J. Bänziger, Zürich, K. Aeberli, Buochs, Werffeli+ Winkler, Effretikon. Die Inbetriebnahme der Brücke erfolgte im Jahr 1971.⁶⁸ Das Viadukt steht an einer geologisch und topografisch herausfordernden Lage am Fuss

⁶⁵ Vgl. Brühwiler/Menn 2003, S. 26; 28.

⁶⁶ Vgl. Böhm 1957, S. 734–735.

⁶⁷ Vgl. D.J. Bänziger, Der Lehnenviadukt Beckenried / NW, in: *IABSE structures = Constructions AIPC = IVBH Bauwerke*, 1979, Bd. 3, S. 42, <https://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=bse-pe-002:1979:3::29#199>.

⁶⁸ Vgl. Bruno Boffo, Zur Eröffnung des Seelisberg-Strassentunnels, in: *Schweizer Ingenieur und Architekt*, 1980, Bd. 98, S. 1304, <https://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=sbz-003%3A1980%3A98%3A%3A4561&referrer=search>.

der Klewenalp. Untersuchungen zeigten, dass der konventionelle Strassenbau mit Dämmen, Hanganschnitten und Stützmauern nicht möglich ist. Die Entscheidung fiel auf eine Brücke, weil ein Tunnel zwei- bis dreimal so viel gekostet hätte.⁶⁹ Das Lehnenviadukt besteht aus fünf Brücken, welche in sich stabil sind und unabhängig voneinander funktionieren. Die mittlere Brücke ist die höchste und misst von der Fahrbahn bis zum Grund 63,7m. Die Wahl einer Zwillingenbrücke statt einer Einzelbrücke ist getroffen worden, weil das Vorschubgerüst und die Taktschiebung bei den zwei Brücken wirtschaftlich optimaler war als eine Einzelne. Dabei laufen die beiden Gerüste jeweils um eine Woche versetzt.⁷⁰ Die Brückenpfeilerschäfte der Foundation sind in Schächten, um sie vor dem Kriechen zu schützen (siehe Abb. 29). Der Pfeilerfuss ist einbetoniert worden.⁷¹ Damit ist der hohle Pfeiler mit dem Unterbau verbunden, der Brückenträger ist jedoch schwimmend gelagert, um die Erdbebensicherheit zu gewährleisten.⁷² Die Konstruktion der Hohlkasteninnenschalung ist mit Hilfe von 5m langen Schalwagen ausgebildet worden. Diese tunnelartige Schalung ermöglichte einen schnellen Baufortschritt. Die Hauptlasten während des Baus bildeten das am Kragarm hängende Vorschubgerüst und der Laufkatzarm. Um die teilweise auftretende einseitige Belastung auszugleichen, wurde der Hohl Pfeiler temporär an die Schachtwand angelehnt und auf der anderen Seite mit Vorspannkabeln zurückgespannt.⁷³



Abbildung 28: Lehnenviadukt Beckenried

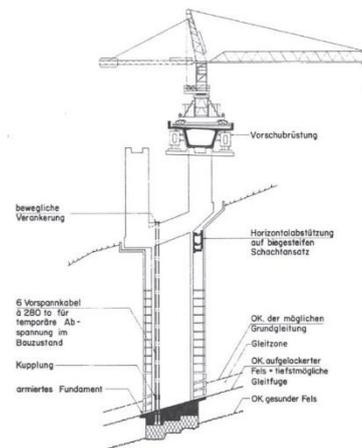


Abbildung 29: Schnitt der Brücke im Bau

3.2.1. Vergleich des Lehnenviadukt Beckenried mit dem Viadotto della Biaschina

⁶⁹ Vgl. D.J. Bänziger, Der Lehnenviadukt Beckenried der Nationalstrasse N2 (Schweiz), in: *IABSE structures = Constructions AIPC = IVBH Bauwerke*, 1978, Bd. 2, S. 10 <https://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=bse-pe-002:1978:2::56#153>.

⁷⁰ Vgl. D.J. Bänziger, Der Lehnenviadukt Beckenried / NW, in: *IABSE structures = Constructions AIPC = IVBH Bauwerke*, 1979, Bd. 3, S. 42–43, <https://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=bse-pe-002:1979:3::29#199>.

⁷¹ Vgl. D.J. Bänziger, Der Lehnenviadukt Beckenried der Nationalstrasse N2 (Schweiz), in: *IABSE structures = Constructions AIPC = IVBH Bauwerke*, 1978, Bd. 2, S. 10 <https://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=bse-pe-002:1978:2::56#153>.

⁷² Vgl. D.J. Bänziger, Der Lehnenviadukt Beckenried / NW, in: *IABSE structures = Constructions AIPC = IVBH Bauwerke*, 1979, Bd. 3, S. 42, <https://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=bse-pe-002:1979:3::29#199>.

⁷³ Vgl. Ebd. S. 42–43.

Beide Brücken liegen an geologisch schwierigen Lagen. Das Lehnenviadukt hat eine aufwendigere Fundation, da hier der Untergrund anfällig fürs Rutschen ist. In der Biaschina ist nur ein Pfeiler (Xm) relativ aufwändig. Die Pfeiler der Tessiner Brücke sind viel höher als die in Nidwalden. Dort spielen aufgrund der grossen Höhe die Winde eine viel wichtigere Rolle bei der Tragfähigkeit. Für beide Brücken benutzten die Ingenieure die gleiche Bauart für den Überbau. Die Gründe für das Freivorbauverfahren waren jedoch unterschiedlich. Bei der Nidwaldner Brücke war nicht die Höhe der Grund für die Bauweise, sondern vor allem der finanzielle Aspekt. Die Ausführungsarbeiten beim Lehnenviadukt hatte die Firma Spaltenstein AG, Zürich, welche eine Tochterfirma der Ed. Züblin + Cie. AG. Zürich ist, die für den Bau des Biaschina-Viaduktes zuständig war.

3.3. Die höchste Autobahnbrücke der Schweiz

Der Pont sur la Mentue auf der A1 gilt mit einer Maximalhöhe von 120m ab Boden⁷⁴ als höchste Autobahnbrücke der Schweiz. Sie befindet sich zwischen Yverdon und Morat und besteht aus zwei voneinander unabhängigen Brücken. Der Wettbewerb für diese Brücke wurde 1993/1994 durchgeführt. Weitere Herausforderungen, nebst der Höhe, waren die geologischen Gegebenheiten des Tals und die horizontale Krümmung der Strasse. Daher war eine gute konstruktive und ästhetische Lösung gefordert, die eine lange Lebensdauer der Brücke sicherstellen soll. Das trapezförmige Tal beeinflusste die Spannweiten, was eine Mittelöffnung von 150m zufolge hatte.⁷⁵ Der Untergrund besteht aus unterschiedlich grossem Lockergestein, welches auf Felsgestein liegt. Die Kräfte der Brücke werden über die Pfeiler direkt in das Felsgestein geleitet. Die Randpfeilerpaare wurden mit Hilfe von Schächten gegründet, während das Pfeilerpaar 2 auf einem gemeinsamen Pfahlfundament ruht und das Pfeilerpaar 3 eine Flachfundation bekam (siehe Abb. 31). Der achteckige Querschnitt der Pfeiler und die Verjüngung in der Mitte sollen die Eleganz der Höhe unterstreichen und die Kraftübertragung verdeutlichen.⁷⁶ Die Pfeiler wurden mit einer Kletterschalung unter Vorspannung als Hohlkasten betoniert. Die Fahrbahnplatte ist im Freivorbauverfahren erstellt worden in Abschnitten von 3.02–5.07m Länge mit Hilfe von zwei Laufkatzen.⁷⁷ Während des Baus der Fahrbahnplatte mussten die Pfeilerpaare 2 und 3 provisorisch auf der gegenüberliegenden Seite des Wagens vorgespannt werden, um das Gleichgewicht wiederherzustellen. Die Zwillingbrücken sind als unabhängige schwimmende Systeme konzipiert. Die Verbindungen zwischen Pfeiler und dem Hohlkasten der Fahrbahn sind als monolithische Verbindungen ausgebildet. Diese Fügungsart erlaubte einen einfacheren Bauablauf.⁷⁸ 1999 wurde die Brücke eröffnet.

⁷⁴ Vgl. Webseite T ingénierie sa, *Ponts sur la mentue, autoroute a.1 lausanne - berne, pont en encorbellement*, <https://www.t-engineering.com/projets/ouvrages-d-art?view=project&id=14:1942-ponts-sur-la-mentue-autoroute-a-1-lausanne-berne-pont-en-encorbellement&catid=16>.

⁷⁵ Vgl. Dr. Bernard Houriet, Andre Vaucher, Design and Construction of the Mentue Bridge, in: *Structural Engineering International*, 2018, S. 19, <https://doi.org/10.2749/101686600780620982>.

⁷⁶ Vgl. Dr. Bernard Houriet, Andre Vaucher, Les ponts sur la Mentile, in: *Ingénieurs et architectes suisses*, 2001, Bd. 127, S. 104, <https://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=bts-003:2001:127::81>.

⁷⁷ Vgl. Dr. Bernard Houriet, Andre Vaucher, Design and Construction of the Mentue Bridge, in: *Structural Engineering International*, 2018, S. 20, <https://doi.org/10.2749/101686600780620982>.

⁷⁸ Vgl. Dr. Bernard Houriet, Andre Vaucher, Les ponts sur la Mentile, in: *Ingénieurs et architectes suisses*, 2001, Bd. 127, S. 104, <https://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=bts-003:2001:127::81>.



Abbildung 30: Pont sur la Mentue

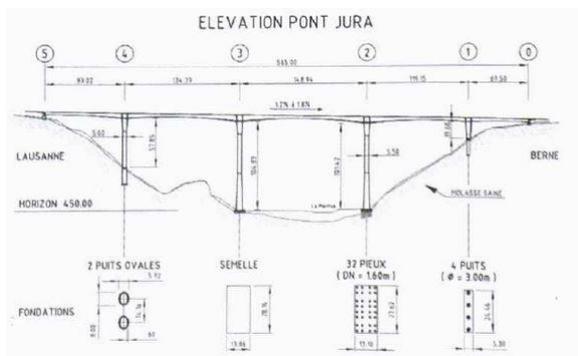


Abbildung 31: Schnitt der Brücke

3.3.1. Vergleich des Pont sur la Mentue mit dem Viadotto della Biaschina

Diese zwei Brücken haben sehr viele Gemeinsamkeiten. Sie gehören beide zu den höchsten Autobahnbrücken der Schweiz und sind dadurch mit den gleichen Problemen konfrontiert. Demnach sind die Windlasten die grösste Herausforderung für diese Brücken. Beide bestehen aus einem Hohlkastenträger für die Fahrbahn und hohlen Pfeilern, jedoch mit unterschiedlichem Querschnitt. Die Bauweise, bestehend aus Kletterschalung und Freivorbauverfahren in Ortsbeton, ist identisch bis auf den Unterschied, dass die Pfeiler für die Brücke in Mentue teilweise vorgespannt werden mussten und im Tessin nicht. Das liegt daran, dass das Biaschina-Viadukt keinem so grossen Zeitdruck ausgesetzt war wie der Pont sur la Mentue.⁷⁹ Bei beiden Brücken achteten die Ingenieure auf die Formgebung des Brückenträgers, damit die Stegspannungen konstant sind.

⁷⁹ Vgl. Dr. Bernard Houriet, Andre Vaucher, Design and Construction of the Mentue Bridge, in: *Structural Engineering International*, 2018, S. 20, <https://doi.org/10.2749/101686600780620982>.

3.4. Älteste Autobahnbrücke der Schweiz

Der Pont sur la Veveyse ist Teil der Autobahn A9 und befindet sich in der Nähe des Anschlusses an die A12 beim Dorf Corsier-sur-Vevey. Die Brücke überquert dort die 300m breite und 80m tiefe Schlucht, welche der Wildbach gegraben hat. Die Zwillingsbrücke ist voneinander unabhängig. Die Brücken sind im Grundriss ein Kreisradius von 900m und haben je eine Gesamtlänge von 328.1m (siehe Abb. 33). Die Fahrbahn ist jeweils auf zwei Pfeilern gestützt. 1965 beauftragte die Baudirektion des Kantons Waadt vier Büros mit der Studie für die Brücke. Aus den vorgelegten Lösungen wurde der Bau aus Stahlbeton vom Ateliers de Constructions Mécaniques de Vevey S.A. den anderen Projekten aus Spannbeton vorgezogen. Auf die Punkte der Statik, Wirtschaftlichkeit, Ästhetik und Konstruktion wurde dabei besonders Wert gelegt. Die zu Beginn veranlassten Bodenuntersuchungen ergaben, dass die eine Talseite aus einer 25m tiefen Kiesschicht besteht, die auf einer Moräne ruht. Diese Foundation stellte damit keine Probleme dar. Auf der anderen Hangseite war es schwieriger, da dort eine Rutschzone ist und der Boden darunter aus einer Lehmschicht und felsiger Molasse besteht. Daher musste eine tiefe Gründung mit Schacht erfolgen, um auf stabilen Untergrund zu fassen. Aus der Setzung der Pfeiler an geologisch günstigen Orten, ergaben sich die Spannweiten von 111m, 129m und 80m. Die Widerlager haben eine Flachfundation und sind direkt mit dem Fahrbahnträger verbunden. Die Pfeiler sind Hohlkasten mit einem rechteckigen Querschnitt, der konstant ist über die ganze Höhe. Betoniert wurden diese mit einer Gleitschalung. Die Fahrbahnplatte wird über die gesamte Länge von einem Stahlträger getragen, welcher mit Scherbolzen befestigt und einbetoniert ist. Die Brücke funktioniert daher als Stahl-Beton-Verbund. Der Fahrbahnträger wurde vofabriziert und in ca. 3,2m langen Teilstücken geliefert und vor Ort verschweisst.⁸⁰

⁸⁰ Vgl. Ch. Menn, P. Aasheim, Le pont sur la Veveyse, in: *Bulletin technique de la Suisse romande*, 1971, Bd. 97, S. 527–529, <https://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=bts-002:1971:97::311#1647>.

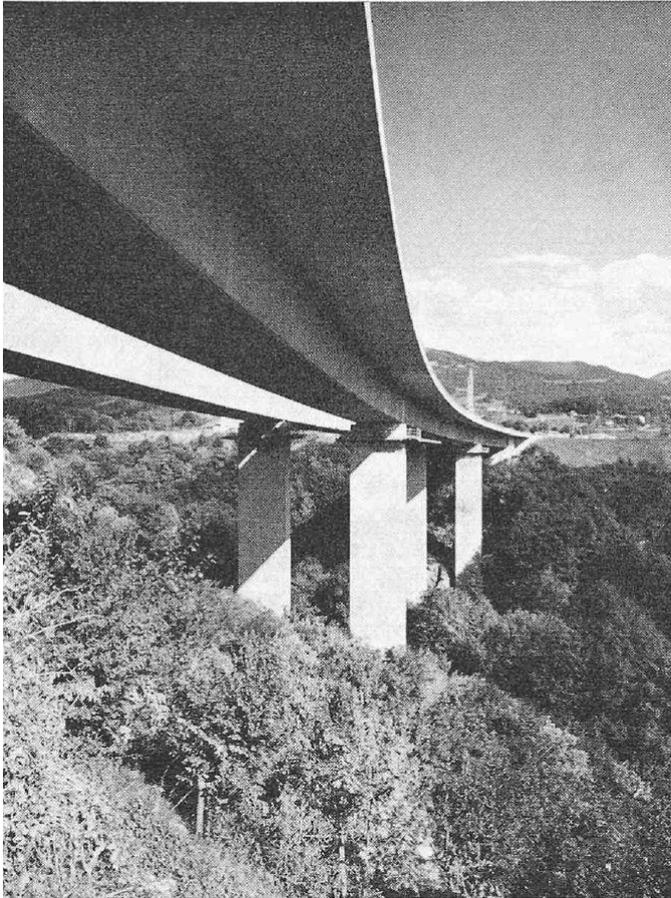


Abbildung 32: Le pont sur la Veveys

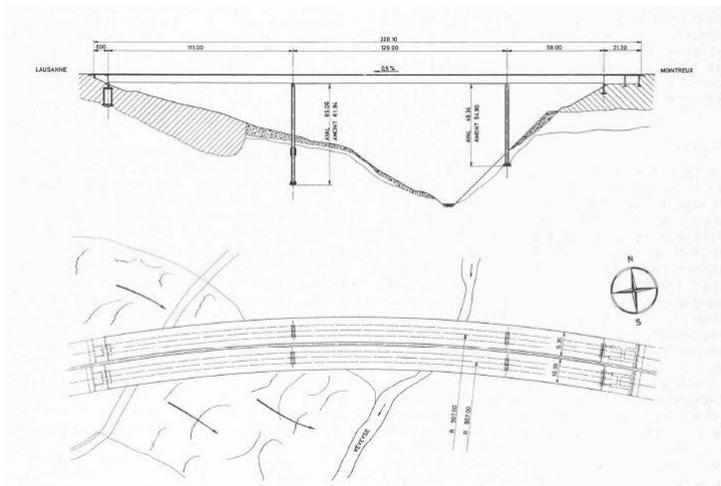


Abbildung 33: Le pont sur la Veveys, Schnitt und Grundriss

3.4.1. Vergleich des Pont sur la Veveyse mit dem Viadotto della Biaschina

Diese beiden Brücken sind sehr unterschiedlich. Obwohl beide aus Beton sind, ist das Biaschina-Viadukt vorgespannt und der Pont sur la Veveyse nicht. Ausserdem handelt es sich hier um die einzige Brücke im Vergleich, die teilweise vorgefertigt wurde. Dies kann durchaus Vorteile haben, ist aber oft mit kürzeren Spannweiten verbunden. Dies liegt unter anderem an der Transportfähigkeit und Montage der Teile, da ab einer Grösse von 35m aufwändige Einbaugerüste benötigt werden.⁸¹ Die Pfeiler wurden mit einer Gleitschalung betoniert, was eine Weiterentwicklung der Kletterschalung ist. Dabei wird laufend betoniert und es entstehen keine Fugen. Spannend ist, dass sich bei der Wahl des Projektes diese Brücke durchsetzen konnte, obwohl alle Konkurrenzprojekte mit Vorspannbeton geplant waren.

3.5. Schlussfolgerungen und Einordnung

Durch die geologisch schwierige Lage war die ökonomischste Lösung für das Biaschina-Viadukt ein Bau im Freivorbauverfahren. Ein Lehrgerüst, egal ob für einen Bogen oder eine andere Form, wäre zu teuer geworden und zu umständlich für diesen Ort. Das 1983 fertiggestellte Viadukt ist daher ein spätes Beispiel für diese Brückenart und auch eine der letzten Autobahnbrücken der Schweiz. Damit ging die Periode des verstärkten Brückenbaus zu Ende. Der Grund dafür ist, dass der Autobahnausbau in der Schweiz ab 1960 verstärkt wurde mit dem Ziel, das Autobahnnetz bis 1980 auf 1800km zu erweitern.⁸² Damit sollten alle Hauptverbindungen hergestellt werden. Der Bau des St. Gotthardtunnels und die Erweiterung der A2 von Airolo bis Chiasso waren die letzten Abschnitte dieses Beschlusses und endeten 1986.⁸³

Wenn nach Gemeinsamkeiten der verglichenen Brücken gesucht wird, so fällt auf, dass zwei davon mit Vorspannbeton und dem Freivorbauverfahren gebaut wurden. Das liegt daran, dass seit dem Bau des Felsenauviaduktes in Bern diese Technik als erprobt galt und bedenkenlos auch für Grossprojekte eingesetzt werden konnte, wie sehr hohe oder lange Brücken.⁸⁴ Die Diskussion bei der Pont sur la Veveyse, welche vor dem Felsenauviadukt entstand, zeigt, dass eine gewisse Skepsis gegenüber Vorspannbeton da war und der damit verbundenen Bauweise. Die Technik setzte sich durch, da die Alternativen zu teuer waren, aufgrund der meist schwierigen Lage der Brücken.

⁸¹ Vgl. Brühwiler/Menn 2003, S. 391–392.

⁸² Vgl. Alexander Rechsteiner, *Die erste Autobahn der Schweiz* (blog), *nationalmuseum.ch*, 27.12.2021, <https://blog.nationalmuseum.ch/2021/12/die-erste-autobahn-der-schweiz/>.

⁸³ Vgl. Ianostrastoria.ch, *L'autostrada N2 in costruzione*, 12.03.2019, <https://ianostrastoria.ch/entries/EDknOjVrXp2>.

⁸⁴ Vgl. Prof. Dr. W. Kaufmann, *Vorlesung Stahlbeton I*, 14. September 2016, ETH Zürich, S. 13, https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjjqZ3l78_3AhXKxqQKHT5RCUIQFnoECBUQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.ethz.ch%2Fcontent%2Fdam%2Fethz%2Fspecial-interest%2Fbaug%2Fibk%2Fconcrete-and-bridge-design-dam%2Flehre%2Fbachelorstudium%2Fstahlbeton%2Fstahlbeton-I-HS-2017%2FVorlesungsunterlagen-Stahlbeton-I%2FAutographie%2Fstahlbeton%2520I_1%2520Einf%25C3%25BChrung_HS2018_auto.pdf&usg=AOvVaw1UPF0IG6t43a6pN2Qr4f1o.

4. Denkmalpflegerisches Gutachten

Der Viadotto della Biaschina befindet sich bis heute nicht im Kulturgüterschutzinventar der Schweiz, noch ist es ein eingetragenes Denkmal. Die Frage, die sich in diesem Kapitel stellt, ist, ob das Viadukt genügend Potential hat um eines zu werden. Dafür wird betrachtet, was charakteristische Merkmale der Autobahnbrücke sind, wie der Zustand ist, ob die Autobahnbrücke Schäden aufweist, aus welchen Gründen sie denkmalwürdig wäre und welche Werte und Eigenschaften sie technisch, sozial oder für die Region verkörpert. Nachdem all diese Punkte geklärt wurden, ist eine Einordnung möglich und es kann eine Empfehlung abgegeben werden.

4.1. Bereits geschützte Vorspannstahlbetonbrücken der Schweiz

Im Kanton Tessin ist lediglich eine Strassenbrücke im KGS-Inventar eingetragen unter der Kategorie B (kantonale und regionale Bedeutung), der Viadotto Tornante di Fieud. Die Tunnelportal in Airolo, Faido, Melide und Grancia sind ebenfalls im KGS-Inventar in der Kategorie B.⁸⁵ In der Schweiz sind nur drei Autobahnbrücken geschützt, zwei davon sind von nationaler Bedeutung und damit als Kategorie A gekennzeichnet. Diese sind das Felsenauviadukt in Bern (Kategorie A), der Viaduc autoroutier de Chillon (Kategorie A) und die Ganterbrücke auf der Simplonpassstrasse (Kategorie B). Wenn andere Strassenbrücken miteinbezogen werden, dann gibt es weitere Beispiele wie die Salginatobelbrücke von Robert Maillart in Stahlbeton, die auch von nationaler Bedeutung ist (Kategorie A).⁸⁶ Um zu verstehen, wieso diese Brücken im Inventar aufgelistet sind, werden die beiden Brücken, welche von nationaler Bedeutung sind, kurz geschildert. Das Felsenauviadukt in Bern (Abb. 34) wurde von 1971 bis 1974 im Freivorbau mit Vorspannbeton vor Ort erstellt. Geplant wurde es von der Ingenieurgesellschaft Emch & Berger, Bern und Dr. C. Menn, H. Rigendinger, Chur.⁸⁷ Sie ist die längste Brücke der A1 und die erste einzellige Kastenbrücke im Freivorbau und damit das erste Zeugnis der technischen Möglichkeiten von Vorspannbeton.⁸⁸ Der Viaduc autoroutier de Chillon setzt sich aus vorgefertigten und vorgespannten Betonteilen zusammen, die im Freivorbau platziert wurden.^{89 90} Die Autobahnbrücke in Chillon (Abb. 35) wurde von den Ingenieuren Prof. Jean-Claude Piguet, R. Hofer und M. Tappy entworfen und von 1966 bis 1969 gebaut.⁹¹ Die 22km lange Brücke ist die erste in der Schweiz, welche im Freivorbau mit vorgefertigten und vorgespannten Elementen erstellt wurde.⁹² Werden die

⁸⁵ Vgl. Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS, Kulturgüterschutz KGS, Kulturgüterschutzinventar mit Objekten von nationaler und regionaler Bedeutung, Revisione Inventario PBC 2021: Lista cantonale del Canton TI (Stato: 10.4.2022), https://www.babs.admin.ch/de/aufgabenbabs/kgs/inventar.html#117_1600245687112.

⁸⁶ Vgl. Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS, Kulturgüterschutz KGS, Kulturgüterschutzinventar mit Objekten von nationaler und regionaler Bedeutung, https://www.babs.admin.ch/de/aufgabenbabs/kgs/inventar.html#117_1600245687112.

⁸⁷ Vgl. Projekt und Ausführung der Felsenaubrücke Bern, in: *Schweizerische Bauzeitung*, 1975. Bd. 93, S. 610, <http://doi.org/10.5169/seals-72827>.

⁸⁸ Vgl. Felsenauviadukt, in: *GSK: Kunstführer durch die Schweiz. Bern*, https://data.geo.admin.ch/>PDF/>kgs_09396_gsk-d.

⁸⁹ Vgl. Brühwiler/Menn 2003, S. 30.

⁹⁰ Vgl. Perret Jacques, u.a., Renforcement des viaducs de Chillon, in: *Tracés : bulletin technique de la Suisse romande*, 2014, Bd. 140, S. 7, <http://doi.org/10.5169/seals-515963>.

⁹¹ Vgl. Der Viadukt von Chillon VD, in: *Das Werk : Architektur und Kunst = L'oeuvre : architecture et art*, 1972, Bd. 59, S.274, <http://doi.org/10.5169/seals-45841>.

⁹² Vgl. Viaduc autoroutier (Chillon), in: *GSK: Kunstführer durch die Schweiz. Bern*, https://data.geo.admin.ch/ch.babs.kulturgueter/PDF/KGS_09513_GSK-f.pdf.

Gründe für die unter Schutz Stellung der beiden Brücken betrachtet, ist ersichtlich, dass sie die ersten Brücken waren, die eine neue Technik oder eine neue Kombination von bestehenden technischen Möglichkeiten genutzt haben, um neue Massstäbe zu setzen. Sie zeigen mit ihrer Präsenz, dass diese Verfahren funktionieren. Damit waren sie Vorbild für darauffolgende Brückenkonstruktionen. Deshalb sind sie von nationalem Wert und nicht nur Beispiele einer regionalen Entwicklung.



Abbildung 34: Felsenauviadukt



Abbildung 35: Viaduc autoroutier de Chillon

Trotz intensiver Recherche konnten die Gründe für die Inventarisierung der Ganterbrücke und dem Viadotto Tornante di Fieud nicht gefunden werden. Am wahrscheinlichsten ist, dass die Brücken von regionaler Bedeutung sind, da sie durch ihre Form und den Standort sehr einzigartige Lösungen darstellen. Die Ganterbrücke (siehe Abb. 36) ist Teil der Simplonpasstrasse und wurde auf geologisch schwierigem Untergrund errichtet, weshalb eine besondere Lösung einer Schrägseilbrücke geplant wurde, wobei die Seile in Betonscheiben einbetoniert sind.⁹³ Der Viadotto Tornante di Fieud (siehe Abb. 37) liegt wenige Kilometer von Airolo entfernt auf der Passstrasse Richtung Göschenen und ist ebenfalls auf geologisch schwierigem Untergrund gebaut. Ausserdem hat sie im Grundriss einen Radius von 120°, was besondere Stützvorrichtungen erforderte und erstmals mit teilweise vorgespanntem Beton gearbeitet wurde, bevor dies zur Planungs- und Baunorm wurde.⁹⁴



Abbildung 36: Ganterbrücke



Abbildung 37: Viadotto Tornante di Fieud

⁹³ Vgl. Menn Christian, Rigendinger Hans, Ganterbrücke, in: *Schweizer Ingenieur und Architekt*, 1979, Bd. 97, S. 733; 736, <http://doi.org/10.5169/seals-85537>.

⁹⁴ Vgl. Andrea Pedrazzini, Giulio Barazzetta, Strade e tunnel, in: *espazium*, 04. Juni 2018, <https://www.espazium.ch/de/node/9555>.

4.2. Charakteristische Merkmale des Viadotto della Biaschina

Wie aus dieser Arbeit hervorgeht, ist der Viadotto della Biaschina eine Vorspannstahlbetonbrücke, die vor Ort betoniert wurde. Für jede Fahrtrichtung wurde eine eigene Brücke erstellt. Die neun schlanken Pfeiler zeigen, wie in Abbildung 6 sichtbar, die Fugen der Kletterschalung im Sichtbeton. Die Fahrbahn ist im Freivorbauverfahren erstellt worden und weist ebenfalls Betonierfugen der einzelnen Takte auf. Die geschwungene Unterkante des Trägers verleiht der Brücke ein schlichtes Aussehen. Sowohl die Pfeiler als auch die Fahrbahnträger sind Hohlkasten und weisen nur eine geringe Stärke auf.⁹⁵ Sie ist mit ihren 110m die zweithöchste Autobahnbrücke der Schweiz⁹⁶ und die Spannweite des Fahrbahnträgers von 160m zwischen den Pfeilern W und X ist gross im Vergleich zu anderen Autobahnbrücken der Schweiz, die in diesem Zeitraum erbaut wurden.⁹⁷

4.3. Zustand der Autobahnbrücke

Das Biaschina-Viadukt wurde von 2020 bis 2022 zusammen mit dem Viadotto di Altirolo, dem Viadotto San Pellegrino, dem Viadotto della Ruina, dem Viadotto di Nivo und der Balmabrücke saniert. Dabei ging es nebst einer Anpassung des Strassenbelags auch um Lärmschutz und Lösung von Problemen bezüglich Naturgefahren, beispielsweise Schutznetze.⁹⁸ Die SUPSI kontrolliert mit ihren Experten den Zustand der Schweizer Brücken. Der Direktor des Instituts Christian Paglia sagt, dass regelmässig Proben von Brücken genommen werden. Diese werden im Materiallabor analysiert, um den Zustand der Armierung festzustellen und den Chlorid-Gehalt im Zement zu prüfen.⁹⁹ Diese Untersuchungen werden durchgeführt, da Calciumhydroxid mit Wasser, beziehungsweise Feuchtigkeit im Beton, und CO₂ zu Calciumcarbonat reagieren kann. Dadurch sinkt der pH-Wert von ursprünglich 12.6–13 auf ca. 9 und die Bewehrung im Beton kann korrodieren. Bei einem normalen pH-Wert ist die Bewehrung passiv und es entsteht keine Korrosion. Nur ungebundene Chloride sind gefährlich für die Bewehrung, weshalb eine regelmässige Kontrolle wichtig ist. Bei der Reaktion zu Calciumcarbonat tritt durch die Korrosion ein Festigkeitsverlust auf und das Volumen des Betons kann sich um ein 2.5faches vergrössern, was zu einer Abspaltung des Betons führen kann.¹⁰⁰ Neben Schäden an der Bewehrung können auch Risse im Beton auftreten. Diese entstehen bei Spannungen im Beton. Durch äussere Kräfte ausgelöste Spannungen, beispielsweise durch zu hohe Lasten, nennen sich Lastspannungen. Bei inneren Spannungen handelt es sich um sogenannte Zwangsspannungen. Die inneren Spannungen entstehen bei Frost-Tau-Wechseln, wenn Wasser in den Beton eindringt und sich beim Gefrieren ausdehnt und Druck auf den Beton ausübt.¹⁰¹ Ausserdem sind

⁹⁵ Siehe Abbildung 9.

⁹⁶ Vgl. Norbert Raabe, Das kleine, feine Brückenland, in: *SRF*, 20. März 2013, <https://www.srf.ch/wissen/technik/das-kleine-feine-brueckenland>.

⁹⁷ Sieh Brühwiler/Menn, 2003.

⁹⁸ Vgl. Website Bundesamt für Strassen ASTRA, *A2 EP09 Biaschina*, <https://www.astra.admin.ch/astra/de/home/themen/nationalstrassen/baustellen/suedostschweiz/a2-ep09-biaschina.html>.

⁹⁹ Vgl. I ponti svizzeri sono sicuri, in: *RSI News*, 16. August 2022, <https://www.rsi.ch/news/ticino-e-grigioni-e-insubria/l-ponti-svizzeri-sono-sicuri-10780823.html>.

¹⁰⁰ Vgl. Winnefeld u. a. 2016, S. 74–75.

¹⁰¹ Vgl. Ebd., S. 76.

Risse durch chemische oder physikalische Treibvorgänge möglich. Risse bis zu einer Breite von 0.2mm sind unbedenklich.¹⁰²

Da keine Besichtigung vor Ort stattgefunden hat, werden die folgenden Beobachtungen anhand von Fotos aus dem Jahr 2013 festgestellt (siehe Anhang). Es sind keine grösseren Risse oder Absprengungen sichtbar, weder an den Pfeilern, noch an der Brückenträgersenseite. Da keine weiteren Sanierungspläne für die Brücke auffindbar waren, kann davon ausgegangen werden, dass sich der Beton in einem guten Zustand befindet. Die Konservierung ist bei einem potentiellen Denkmal aus Beton das beste Vorgehen, da alle Arten von Restaurierungen und Reparaturen immer zu Veränderungen der Oberflächenstruktur führen. Damit weicht die neue äussere Erscheinung vom Original ab. Dadurch kann das Fugenbild verfälscht werden oder die Körnung der Oberfläche ändern, was die Lesbarkeit des Objektes nicht mehr gewährleistet.¹⁰³ Da nicht bekannt ist, ob der Sichtbeton einen Schutzanstrich erhalten hat, wäre das eine Prüfung wert. Sollte kein Anstrich (mehr) vorhanden sein, ist eine Erneuerung eine sinnvolle Schutzmassnahme, die das Aussehen schützt und die Angreifbarkeit verringert. Dieses Vorgehen folgt dem Prinzip konservieren, nicht restaurieren.¹⁰⁴

4.4. Bedeutung in der Landschaft der Biaschina

Das Viadukt befindet sich in der Biaschina-Schlucht. Es liegt wie eine graue Skulptur zwischen den grünen Berghängen. Die schlanken Pfeiler und die grossen Abstände zwischen ihnen von 160m und 140m ermöglichen eine grosse Durchsicht. Die runde Unterseite des Fahrbahnträgers leitet den Blick und verschmilzt mit den Berghängen. Keine harten Linien zerschneiden die Landschaft. Der Sichtbeton zeigt eine Massivität, aber durch die schlanke Form wirkt die Brücke nicht wie ein Fremdkörper. Das hängt auch damit zusammen, dass das anschliessende Viadotto San Pellegrino eine ähnliche Formensprache hat und die Brücken nicht alleine stehen und andere Infrastrukturen sie umgeben.

4.5. Infrastrukturelle Bedeutung für die Region

Die Autobahnbrücke ist umgeben von anderen Infrastrukturbauten. Die darunterliegende Kantonsstrasse verläuft in drei Schlaufen Richtung Biasca und die Gleise für den regionalen Zugverkehr verlaufen in zwei Kurven am Berg entlang unter der Brücke durch. Die Autobahn A2 ist die Hauptverbindung vom Norden durch den Gotthard in den Süden. Sie stellt sicher, dass die Verbindung ins Tessin unabhängig vom Wetter besteht.¹⁰⁵ Damit ist die Autobahnbrücke ein unverzichtbarer Teil des Strassennetzes. Sie auszutauschen wäre ein Grossprojekt, welches durch die zwei unabhängigen Fahrspuren machbar wäre, aber sicher kein einfaches Unterfangen. Dies liegt daran, dass neben den vielen Touristen auch die Mehrheit der Tessiner das Auto benutzen, statt beispielsweise den Zug. Die Gemeinden und der Kanton Tessin bemühten sich in den letzten Jahren, weniger abhängig von der Autobahn zu sein und bauten den öffentlichen Verkehr aus. Ein Beispiel dafür ist der Ende 2020 in Betrieb genommene

¹⁰² Vgl. Winnefeld u. a. 2016, S. 73.

¹⁰³ Vgl. Bundesamt für Kultur 2010, S. 268.

¹⁰⁴ Vgl. Ebd., S. 185.

¹⁰⁵ Im Winter oder bei schlechtem Wetter wird die kantonale Passstrasse gesperrt, weil deren Benutzung zu gefährlich ist.

Ceneri-Basistunnel, welcher die Fahrt von Bellinzona nach Lugano von 30min auf 19min verkürzt.¹⁰⁶ Von diesen neuen Zugverbindungen profitieren grösstenteils nur die StadtbewohnerInnen im Kanton Tessin, während die in den Tälern ansässigen Personen immer noch auf das Auto angewiesen sind. Die Autobahnbrücke und die Strecke, die sie verbindet, sind daher essentiell für die Region.

4.6. Gestalterischer Wert des Viadotto della Biaschina

Die Sichtbetonoberfläche der Autobahnbrücke wurde seit ihrer Erstellung nicht bearbeitet. Diese Tatsache macht es möglich, die Spuren der Herstellungsprozesse zu lesen. Die Fugen, die Form, aber auch die Auflager lassen auf die Bauart und die Tragweise der Brücke schliessen. Die Technik des Vorspannbetons mit dem Freivorbauverfahren bedarf bei einem Bauwerk dieser Höhe präziser Planung und Ausführung, da die Toleranzen sehr gering sind. Diese Präzision ist in der Formfindung der Pfeiler und der Träger sichtbar. Schwierig zu kontrollierende Kräfte wurden schon beim Entwurf minimiert und günstige Kräfteverläufe begünstigt. Die damit entstandene Schlichtheit der Autobahnbrücke lässt den Beton leicht wirken und strahlt eine Eleganz aus.

4.7. Zeugniswert als Vorspannstahlbetonbrücke der 1980er Jahre

Der Viadotto della Biaschina ist ein klarer Vertreter seiner Bauweisen während des Ausbaus des Nationalstrassennetzes in der Schweiz. Die Vorspanntechnik, sowie das Freivorbauverfahren sind häufig genutzte Methoden zur Erstellung von Strassenbrücken. Seit der ersten Verwendung dieser Systeme in der Schweiz ab Mitte der 1960er Jahre, beziehungsweise seit den 1970ern auch ohne Fertigelemente und in Ortsbeton, hat sich das System bis heute als effizient und ökonomisch erwiesen. Deshalb sind auch viele der Autobahnbrücken der A2 im Tessin Vorspannbetonbrücken. Der an das Biaschina-Viadukt anschliessende Viadotto San Pellegrino ist ein Beispiel dafür.¹⁰⁷ Die Kletterschalung als Werkzeug zur Errichtung hoher Pfeiler wurde ebenfalls beim Bau des Viadotto della Biaschina verwendet. Sie stellt eine Weiterentwicklung der statischen Schalungen dar. Die Gleitschalung als ihr Nachfolger zeigt keine Spuren der Schalung am fertigen Bauwerk, wodurch die Herstellungsart nicht mehr ersichtlich ist nach Fertigstellung. Somit ist das Viadotto della Biaschina ein Bauwerk, welches seine Baugeschichte an seinem Äusseren zeigt, sofern die Kenntnisse vorhanden sind, um es zu entschlüsseln.

4.8. Soll das Biaschina-Viadukt ein Denkmal werden?

Von den in der Schweiz bestehenden rund 4548 Autobahnbrücken¹⁰⁸ sind wie erwähnt nur drei denkmalgeschützt, wovon wiederum nur zwei als geschützte Baudenkmäler von nationaler Bedeutung gelten. Wieso so wenige Autobahnbrücken als Denkmal gelten

¹⁰⁶ Vgl. Christian Marti, Der Ceneri-Basistunnel stärkt den öV im Tessin, in: *Litra*, 16. Dezember 2019, <https://litra.ch/de/aktuelles/der-ceneri-basistunnel-starkt-den-ov-im-tessin>.

¹⁰⁷ Vgl. Ruprecht Ingegneria, Viadotto San Pellegrino autostradale A2 Giornico, <https://ruprecht-ingegneria.ch/portfolio/viadotto-san-pellegrino-autostradale-a2-giornico>.

¹⁰⁸ Vgl. Daniel Fuchs, 12 Prozent der Schweizer Brücken sind beschädigt – Sanierung kostet Milliarden, in: *Aargauer Zeitung*, 16.08.2018, 04:00, <https://www.aargauerzeitung.ch/schweiz/12-prozent-der-schweizer-brucken-sind-beschadigt-sanierung-kostet-milliarden-ld.1523445>.

liegt nicht daran, dass sie noch nicht so alt sind und keinen historischen Wert haben. Sondern eher daran, dass sich ihre Schutzwürdigkeit durch technische Neuerungen legitimiert, welche zum ersten Mal angewendet wurden. Da die meisten Autobahnbrücken aus Beton sind, ist die technische Ausführung überwiegend ähnlich. Es wurde bei der Statik auf die Erfahrungen der Vorgänger vertraut und die Freiheiten spielten sich innerhalb des Entwurfes ab.

Ein geschütztes Baudenkmal von nationaler Bedeutung ist das Viadotto della Biaschina nicht, da es bewährte Bauweisen verwendet und keine folgenreichen Neuerungen beinhaltet. Jedoch ist es als Teil der A2 im Tessin ein wichtiger Bestandteil der Infrastruktur im Kanton und dient dessen Erschliessung. Da die Biaschina-Schlucht als eine grosse Herausforderung für die zu erstellende Autobahn betrachtet wurde, ist ihre Präsenz und die damit verbundenen Symbolik durchaus hoch. Auf jeden Fall sollte die Autobahnbrücke vor Schäden geschützt werden, ohne sie zu restaurieren. Eine Schutzschicht für den Sichtbeton, wie auch regelmässige Kontrollen sind nicht nur für eine potentielle zukünftige Inventarisierung wünschenswert, sondern auch für eine Langlebigkeit der Bausubstanz an sich dienlich.

Schlusswort: Ein spätes Beispiel für Schweizer Autobahnbrücken aus Vorspannbeton?

Die Schweiz mit ihrer abwechslungsreichen Topografie fordert viele Brücken über Flüsse, Seen, Täler und Schluchten in verschiedenen Dimensionen und Formen und kann damit als ein kleines Brückenland bezeichnet werden.¹⁰⁹ Mit dem Ausbau der Autobahnen kam eine neue Art der Brücke hinzu, die Autobahnbrücke. In den Jahren des starken Ausbaus wurden die Bauweisen verbessert, weiterentwickelt und neue Systeme geschaffen. Durch die Analyse wird klar, dass der Viadotto della Biaschina eine klassische Vorspannbrücke ihrer Zeit darstellt. Die Kletterschalung für die Betonierung der Pfeiler ist eine bewährte Methode, die sehr ökonomisch und effizient funktioniert und durch ihre repetitive Art die Arbeit vereinfacht. Die Armierung in den Pfeilern ist jedoch nicht vorgespannt. Der Fahrbahnträger, welcher im Freivorbauverfahren betoniert wurde, arbeitet mit den Vorteilen der Vorspannung. Diese ist massgebend für die Stabilität während des Betonierens mit dem Freivorbauwagen und verhindert ein Kippen des Wagens. Da sich die Schalung nicht ändert, ist dieser Bauvorgang ebenfalls repetitiv und senkt die Kosten im Vergleich zu Bauweisen, welche mehr Arbeiter beschäftigen.

Wird der Viadotto della Biaschina anderen Brücken gegenübergestellt, wird ersichtlich, dass diese Bauweise in der Schweiz sehr verbreitet war. Sie wird schon seit den 1960er Jahren benutzt und hat mit der Zeit neue Formen angenommen und technische Fortschritte gemacht. Die Technik ist aber nicht überholt, wie der Bau des Pont sur la Mentue kurz vor der Jahrhundertwende zeigt. Dazu kommen Mischformen wie die Ganterbrücke, welche die Prinzipien einer Vorspannbetonbrücke mit denen einer Schrägseilbrücke vereint. Jedoch ist jede Brücke aufgrund ihrer Lage und den damit verbundenen Grundvoraussetzungen anders und einzigartig, unabhängig davon, dass die gleiche Bauart verwendet wird.

Die Bauart des Viadotto della Biaschina war bereits etabliert und damit keine Revolution im Brückenbau. Da die aktuell geschützten Denkmäler Brücken sind, die eine technische Neuerung verkörpern, kann der Viadotto della Biaschina nicht als denkmalwürdig und von nationaler Bedeutung eingestuft werden. Sie ist aber infrastrukturell und regional eine sehr wichtige Autobahnbrücke, nicht nur als Unterbau für die Strasse, sondern auch symbolisch als verbindende Ader ins Tessin.

Der Viadotto della Biaschina ist damit definitiv ein spätes Beispiel für eine Vorspannstahlbetonbrücke der Schweiz, aber sie ist definitiv nicht die Letzte ihrer Art. Die Autobahn ist noch nicht vollständig ausgebaut, was immer noch die Möglichkeit bietet, in den nächsten Jahren eine vielleicht ähnliche Vorspannstahlbetonbrücke in der Schweiz zu bauen.

¹⁰⁹ Vgl. Norbert Raabe, Das kleine, feine Brückenland, in: SRF, 20. März 2013, <https://www.srf.ch/wissen/technik/das-kleine-feine-brueckenland>.

Literaturverzeichnis

- Böhm, Dr.- Ing. Franz, *Schalung und Rüstung, Moderne Schaltechnik*, 5., Neubearb. und erw. Auflage, Berlin 1957.
- Brühwiler, Eugen, und Christian, Menn, *Stahlbetonbrücken*, 3., aktualisierte und erw. Auflage, Wien 2003.
- Bundesamt für Kultur Bern (Hg.), *Patrimonium, Denkmalpflege und archäologische Bauforschung in der Schweiz 1950–2000*, Zürich 2010.
- Fumagalli, Paolo, und Maddalena, Disch, *Schweizer Architekturführer*, Bd. 3., übers. von Christa Zeller, Zürich 1996.
- Girmscheid, Prof. Dr.-Ing. Gerhard, *Bauverfahren des Brückenbaus*, 2. Aufl., Zürich 2012.
- Mehlhorn, Gerhard, *Handbuch Brücken Entwerfen, Konstruieren, Berechnen, Bauen und Erhalten*, 3. Aufl., unter Mitw. von Manfred, Curbach (Hgs.), Kassel u.a. 2014.
- Menn, Christian, *Brückenbauer*, 2. Bd. 3. Zürich 2009.
- Schärer, Caspar, und Christian, Menn, *Christian Menn - Brücken*, Zürich 2015.
- Spura, Christian, *Technische Mechanik 2. Elastostatik*, 1. Aufl., Wiesbaden 2019.
- Winnefeld, Dr. Frank, Dr. Peter Richner, Dr. Tanja Zimmermann und Oliver von Trebiatowski, *Baumaterialien I Struktur Eigenschaften Verwendungen*, Zürich 2016.

Bildquellen

Abbildung 1:

ETH Zürich, Professur: Prof. Dr.-Ing. Silke Langenberg, Züblin-Archiv, Ordner Baustellenfotos, 1984-11, N2 Viadotto della Biaschina, SPAL-A-117, ohne Pagina

Abb. 2–3:

Ugo Guzzi, Bernhard Meier, Viadotto della Biaschina, in: *Schweizer Ingenieur und Architekt*, 1979, Nr. 38, S.741, <http://doi.org/10.5169/seals-85538>.

Abb. 4

ETH Zürich, Professur: Prof. Dr.-Ing. Silke Langenberg, Züblin-Archiv, Ordner Baustellenfotos, 1984-11, N2 Viadotto della Biaschina, SPAL-A-117, ohne Pagina

Abb. 5:

Ugo Guzzi, Bernhard Meier, Viadotto della Biaschina, in: *Schweizer Ingenieur und Architekt*, 1979, Nr. 38, S.743, <http://doi.org/10.5169/seals-85538>.

Abb. 6–8:

ETH Zürich, Professur: Prof. Dr.-Ing. Silke Langenberg, Züblin-Archiv, Ordner Baustellenfotos, 1984-11, N2 Viadotto della Biaschina, SPAL-A-117, ohne Pagina

Abb. 9:

Ugo Guzzi, Bernhard Meier, Viadotto della Biaschina, in: *Schweizer Ingenieur und Architekt*, 1979, Nr. 38, S.742, <http://doi.org/10.5169/seals-85538>.

Abb. 10:

ETH Zürich, Professur: Prof. Dr.-Ing. Silke Langenberg, Züblin-Archiv, Viadotto della Biaschina Schalungspl. Guzzi, ZUEB-B-256, Pila Vv, Avanzamento a sbalzo verso sud e nord Cavi di Precompressione Piattabanda

Abb. 11–12:

ETH Zürich, Professur: Prof. Dr.-Ing. Silke Langenberg, Züblin-Archiv, Ordner Baustellenfotos, 1984-11, N2 Viadotto della Biaschina, SPAL-A-117, ohne Pagina

Abb. 13–14:

ETH Zürich, Professur: Prof. Dr.-Ing. Silke Langenberg, Züblin-Archiv, Viadotto della Biaschina 708 Ing. - Pläne + AVOR, ZUEB-B-257, Procedimento di lavoro, Per la sommità della pila e per la tappa di base, pila Wv (vale anche per Xv)

Abb. 15–17:

ETH Zürich, Professur: Prof. Dr.-Ing. Silke Langenberg, Züblin-Archiv, Ordner Baustellenfotos, 1984-11, N2 Viadotto della Biaschina, SPAL-A-117, ohne Pagina

Abb. 18:

Böhm . Dr-. Ing. Franz, *Schalung und Rüstung, Moderne Schaltechnik*, 1957, 5. Auflage, S. 724

Abb. 19:

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Girmscheid, *Bauverfahren des Brückenbaus*, 2012, 2. Auflage, S. 116

Abb. 20-22:

ETH Zürich, Professur: Prof. Dr.-Ing. Silke Langenberg, Züblin-Archiv, Viadotto della Biaschina 708 Ing. - Pläne + AVOR, ZUEB-B-257, Procedimento di lavoro, Per la sommità della pila e per la tappa di base, pila Wv (vale anche per Xv)

Abb. 23–24:

ETH Zürich, Professur: Prof. Dr.-Ing. Silke Langenberg, Züblin-Archiv, Viadotto della Biaschina 708 Ing. - Pläne + AVOR, ZUEB-B-257, Querschnitte, Freivorbauwagen

Abb. 25:

Brühwiler, E. & Menn, C., *Stahlbetonbrücken*, 2003, Dritte, aktualisierte und erweiterte Auflage, S. 10

Abb. 26–27:

Prof. Dr. W. Kaufmann, *Vorlesung Stahlbeton II*, Frühlingssemester 2019, ETH Zürich

Abb. 28:

Franziska Herger, Lehnenviadukt Beckenried wird saniert, in: *Luzerner Zeitung*, 18.08.2019, <https://www.luzernerzeitung.ch/zentralschweiz/nidwalden/lehnenviadukt-beckenried-wird-saniert-ld.1144043>

Abb. 29:

Bänziger D.J., Der Lehnenviadukt Beckenried / NW, in: *IABSE structures = Constructions AIPC = IVBH Bauwerke*, 1979, Bd. 3, S. 42, <https://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=bse-pe-002:1979:3::29#199>

Abb. 30:

Dr. Bernard Houriet, Andre Vaucher, Les ponts sur la Mentile, in: *Ingénieurs et architectes suisses*, 2001, Bd. 127, S. 105, <https://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=bts-003:2001:127::81>

Abb. 31:

Dr. Bernard Houriet, Andre Vaucher, Les ponts sur la Mentile, in: *Ingénieurs et architectes suisses*, 2001, Bd. 127, S. 104, <https://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=bts-003:2001:127::81>

Abb. 32:

Ch. Menn, P. Aasheim, Le pont sur la Veveyse, in: *Bulletin technique de la Suisse romande*, 1971, Bd. 97, S. 527, <https://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=bts-002:1971:97::311#1647>

Abb. 33:

Ch. Menn, P. Aasheim, Le pont sur la Veveyse, in: *Bulletin technique de la Suisse romande*, 1971, Bd. 97, S. 529, <https://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=bts-002:1971:97::311#1647>

Abb. 34:

Projekt und Ausführung der Felsenaubücke Bern, in: *Schweizerische Bauzeitung*, 1975. Bd. 93, S. 610, <http://doi.org/10.5169/seals-72827>

Abb. 35:

Brühwiler E. & Menn C., *Stahlbetonbrücken*, 2003, Dritte, aktualisierte und erweiterte Auflage, S. 29, <http://doi.org/10.5169/seals-72827>

Abb. 36:

Menn Christian, Rigendinger Hans, Ganterbrücke, in: *Schweizer Ingenieur und Architekt*, 1979, Bd. 97, S. 733; 736, <http://doi.org/10.5169/seals-85537>

Abb. 37:

Andrea Pedrazzini, Giulio Barazzetta, Strade e tunnel, in: *espazium*, 04. Juni 2018, <https://www.espazium.ch/de/node/9555>

Abb. 38–45:

Viadotto della Biaschina, Foto: Hurni Christoph, 28. August 2013

Anhang



Abbildung 38: Viadotto della Biaschina



Abbildung 39: Viadotto della Biaschina von unten



Abbildung 40: Viadotto della Biaschina, Untersicht



Abbildung 41: Viadotto della Biaschina Pfeileransicht



Abbildung 42: Viadotto della Biaschina, Durchsicht durch Mittelöffnung



Abbildung 43: Viadotto della Biaschina



Abbildung 44: Viadotto della Biaschina, Mittelöffnung und Fluss Ticino



Abbildung 45: Viadotto della Biaschina, Sicht entlang Brückenträger