Brücken für den Doppelspurausbau der Lötschbergbahn

Autor(en): **Graber, Urs**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **106 (1988)**

Heft 49

PDF erstellt am: **28.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-85858

Nutzungsbedingungen

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

Haftungsausschluss

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

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

http://www.e-periodica.ch

scheinung, und sie dunkeln über Jahrzehnte nicht ab, weil unter solchen klimatischen Verhältnissen ein Algenbewuchs massiv behindert ist. Wir haben deshalb vor allem mit aufgelösten Konstruktionen gearbeitet, deren Schlagschatten bei greller Beleuchtung die harten Flächen brechen.

Oberflächengestaltungen mit Wasch- oder Bürstbeton oder Strukturschalungen vermögen aus der Distanz hingegen keine dämpfende Wirkung zu geben. Im Wallis schon gar nicht, weil die verwendeten Zuschlagstoffe meist noch heller sind als der Zement. An gewissen Orten haben wir deshalb Beton- oder Gunitoberflächen mit Rückständen von einem Sandstrahlwerk abgetönt, weil dieser Staub einigermassen der Verwitterungsfarbe des Felsens entspricht. Um jedoch eine Wirkung zu erzielen, muss man sehr stark abdunkeln. Der Nachteil: Auf den so behandelten Flächen entstehen immer unansehnliche Ausblühungen von Kalk, die aus der Nähe gesehen störend wirken.

Die 1906–1913 gebaute einspurige Lötschberglinie begann erst allmählich in die Gegend einzuwachsen. Eine Gegenüberstellung der beiden Bilder von der Nordrampe zeigt, wie stark der Wald inzwischen zugenommen hat (Bild 1 und 2). Beim Bau der Doppelspur haben wir deshalb vor allem an der Südrampe versucht, noch verbleibende kahle Geröllhalden aus der Bauzeit mit feinerem Aushubmaterial zu überschütten und zu begrünen. Alle Begrünungsmassnahmen wurden in enger Zusammenarbeit mit den lokalen Forstfachleuten durchgeführt. Dies ermöglichte, die speziellen Eigenheiten des Ortes am besten zu berücksichtigen. So mussten zum Beispiel an der stark besonnten Südrampe die überschütteten Flächen so rasch als möglich mit dem Hydrosaatverfahren begrünt und feucht gehalten werden, damit der Wind nicht die feinen Bodenbestandteile wegblies, bevor sie vom Wurzelwerk festgehalten werden konnten. Diese Methode entsprach nicht den Wünschen der Mitglieder der Eidgenössischen Naturschutzkommission, doch war sie zweckmässig, weil sich die standorttypische Vegetation allmählich einstellen wird.

Der Doppelspurausbau war für alle Beteiligten eine willkommene Herausforderung. Wir bedauern, dass diese interessante Aufgabe nun zu Ende geht.

Adresse des Verfassers: *Franz Kilchenmann*, Dipl. Bauing. ETH, Leiter der Hauptabteilung Produktion und Technik bei der BLS, Genfergasse 11, 3011 Bern.

Brücken für den Doppelspurausbau der Lötschbergbahn

Am Ende des Jubiläumsjahres «75 Jahre BLS» wird auf der BLS-Nordrampe zwischen Spiez und Kandersteg die Doppelspur durchgehend in Betrieb genommen. Damit ist die Doppelspur auf der 84 km langen BLS-Stammlinie zwischen Thun und Brig zu 90% oder 75,4 km vollendet. Bis zur durchgehenden Inbetriebnahme des zweiten Gleises fehlen noch die zwei Abschnitte Goppenstein-Hohtenn und Ausserberg-Lalden auf der Südrampe. Zur Realisierung dieses Projektes zählen nebst umfangreichen Tiefbauarbeiten, Tunnels und Galerien auch die Verbreiterung von rund 20 grösseren Brücken und Viadukten. Ende 1988 ist die Verbreiterung auf Doppelspur bei allen Objekten vollendet. Der nachstehende Bericht erläutert die Bedingungen beim Brückenbau und deren Einfluss auf die Gestaltung der Bauwerke.

VON URS GRABER, BERN

Bedingungen für den Brückenbau

Die BLS-Nord- und -Südrampe zwischen Frutigen–Kandersteg und Goppenstein–Brig mit Steigungen zwischen 22 und 27 Promillen und Kurven von 300 m Radius haben ausgesprochenen Gebirgscharakter. Die Linienführung brachte es mit sich, dass beim Bahnbau um 1913 eine grosse Anzahl von Kunstbauten erstellt werden mussten, um alle die Bahn kreuzenden Täler, Bäche, Runsen und Wege zu überqueren. Bei den 20 längsten Objekten (Tabelle 1) sind dabei bemerkenswert schöne und gut in die Landschaft passende Bauwerke entstanden. Die überwiegende Anzahl davon sind Brücken mit Gewölben aus Mauerwerk von 8–25 m Lichtweite. Die alten Gewölbeviadukte befinden sich nach 75 Jahren noch in bestem Zustand, und es ist kein Ende ihrer Tragfähigkeit absehbar. Wo eine Öffnung grössere Weiten überquert, geringe Bauhöhen zur Verfügung standen oder ungünstige Fundationsverhältnisse die Errichtung massiger Brücken als nicht ratsam erscheinen liessen, wurden Stahlbrücken errichtet.

Für das Trassee der zweiten Spur, welches mit einigen Ausnahmen in einem Achsabstand von 3,60 m talseits vom bestehenden Gleis verläuft, war zusätzlich zur Verbreiterung der bestehenden Brücken der Bau von 10 000 m Hangbrücken (Lehnenviadukte) notwendig. Das zweite Gleis liegt gesamthaft zu 33% auf Brücken, und Anfang und Ende einer bestimmen Brücke ist nicht mehr ohne weiteres klar erkennbar.

Die folgenden Faktoren haben den Brückenbau für die BLS-Doppelspur, aufgeteilt nach Tragwerk, Pfeiler, Fundation, Erschliessung, Installationen und Gerüsten, massgebend beeinflusst:

- Landschaftsbild
  Form, Auflösungsgrad, Helligkeit, Sichtdistanz, Sichtwinkel.
- Sicherheit
  Aufrechterhaltung des Bahnbetriebes auf dem benachbarten Gleis, Arbeitssicherheit.
- Gebirge
  Schwere Zugänglichkeit der Baustellen, Fundationen unter Berücksichtigung von Schichtung und Klüftung des Felsens und Stabilitätsprobleme bei steil abfallenden Felsschichten.
- Tragfähigkeit
  Die bisher begrenzte Belastungsklasse der Strecke musste bis Ende 1988 auf die internationale UIC-Norm D 4 erhöht werden, d.h. dass künftig Achslasten von 22,5 Tonnen und eine Meterlast von 8 Tonnen zulässig sind.
- Bauausführung
  Ausschluss von Konstruktionsmängeln und rationelle Bauweise durch Normalisierung häufig vorkommender, schwieriger Bauwerksteile.

			1913			2. Gleis			
		ca. Höhe (m)	Länge (m)		Typ	Länge (m)	Typ	Kosten	Besonderheiten
1 FB	Kanderviadukt	25	265	NG	11×17÷25	285,00	VB	3 222 000.–	Fundation auf Pfählen
2 BF	Felsenburgviadukt	20	68	NG	3×20	68,00	VB	835 000.–	Fundation: Schächte bis 20 m tief
3 BF	Fürtenviadukt	14	55	NG	4×12	65,50	SB	679 000.–	
4 BF	Fürtfluhviadukt	15	26	NG	2×12	51,37	SB	1 976 000.–	mit Steinschlaggalerie 99,00 m
5 BF	Haltenwaldviadukt	9	46	NG	4×10	40,70	SB	420 000.–	
6 BF	Kehrtunnelbrücke	6	45	S	3×14.80	47,00	SB	720 000.–	Stahltragwerke ersetzt
7 BF	Ronenwaldviadukt	16	76	NG	4×18	84,00	VB	805 000.–	
8 FK	Rotbachbrücke	29	40	NG	1×36.35	51,40	SB	782 000.–	Bogenbrücke BSt. 36,35 m
9 FK	Sarengrabenbrücke	31	70	S		88,70	VB	1 925 000.–	
10 FK	Brücke über Bühlkurve	10				90,00	VB	55 800.–	inkl. anschliessende Lehnenbauwerke
11 FK	Kanderbrücke	4	22	S		22,00	VB	403 000.–	Stahlbrücke ersetzt
12 GH	Lonzaviadukt	19	90	NG	4×12,1×22	92,60	VB	879 000.–	auf alten Sockeln fundiert
13 GH	Wolfbühlgrabenviadukt	16	40	NG	3×12	42,75	SB	365 000.–	als einzige auf Bergseite erweitert
14 HA	Luogelkinviadukt	50	123	NG	5×20	121,20	SB	3 679 000.–	Erhaltung der alten Bauform
15 HA	Ijollibachbrücke	17	92	NS	4×8∅12	106,00	VB	1 388 000.–	Stahltragwerk ersetzt
16 HA	Bietschtalbrücke	78	136	S		136,00	S	7 021 000.–	Ergänzung und Verstärkung
17 AL	Baltschiederbrücke	53	101	NS		103,00	VB	3 750 000.–	Stahltragwerk ersetzt
18 AL	Finnengrabenviadukt	26	75	NG	5×12	75,00	SB	1 800 000.–	Erhaltung der alten Bauform
19 LB	Mundbachviadukt	22	42	NG	4×9	65,90	SB	500 000.–	Bogenbrücke BSt. 40,00 m
20 LB	Rhonebrücke	10	85	S		85,00	S	1 476 000.–	Zweite Stahlfachwerkbrücke

NG = Natursteingewölbe (Lichtweite der Öffnungen)
S = Stahl
VB = Vorgespannter Beton
SB = Stahlbeton
NS = Gemischte Bauweise

Doppelspur Abschnitte FB = Frutigen–Blausee
BF = Blausee–Felsenburg
FK = Felsenburg–Kandersteg
GH = Goppenstein–Hohtenn
HA = Hohtenn–Ausserberg
AL = Ausserberg–Lalden
LB = Lalden–Brig

Tabelle 1. Die 20 längsten Brücken der BLS-Strecken Frutigen–Brig

Tragwerke und Pfeiler

Bei der Auswahl geeigneter Tragwerke und Pfeiler spielten Ästhetik und Tragfähigkeit die wesentlichste Rolle. Stellt die bestehende Linie ein eindrückliches Zeugnis der Brückenbaukunst der Jahrhundertwende dar, so konnten beim Doppelspurausbau neuzeitliche Brükkenformen und -materialien zum Einsatz gebracht werden. Manches Objekt bildet durch das harmonische Nebeneinander alter und neuer Bauformen eine besonderen Akzent für die Landschaft der Lötschberglinie.

Betonbalkenbrücken

Der direkte Anbau einer Betonbalkenbrücke an eine Gewölbebrücke in Mauerwerk stellt preislich die günstigste Lösung dar. Sie ist jedoch besonders bei Talquerungen, wo ein freier Durchblick möglich ist, nicht befriedigend, weil die Gewölbescheitel durch den Betonbalken verdeckt werden. Mit dieser Problematik hatte sich die BLS bei der längsten Brücke, dem mit 11 Gewölbebogen 265 m langen Kanderviadukt bei Frutigen, zu befassen. Das 25 m hohe, alte Bauwerk besticht durch seine schlanke Bauweise und ist mit seiner markanten Bergkulisse ein bekanntes Fotoobjekt (Bild 1).

Der zweite Kanderviadukt besteht aus zwei aufeinanderfolgenden, über 5 bzw. 6 Felder durchlaufenden Rahmenbrücken mit 1,60 m Trägerhöhe, Dilatationsfuge bei einem Doppelpfeiler in der Mitte und Pfeilern von nur 0,80×2,70 m Querschnitt. Beide Brükkenhälften sind an den Widerlagern in Längsrichtung verankert. Wegen der beschränkten Tragfähigkeit des Baugrundes und der Gefahr der gegenseitigen Beeinflussung durch Setzungen wurde er in 15 m seitlicher Distanz vom alten Viadukt gebaut. Er fügt sich damit gut ins Landschaftsbild ein, und für den Betrachter entstehen faszinierende Perspektiven. Das Projekt war durch eine Einsprache des Schweizerischen Natur- und Heimatschutzes zunächst während zweier Jahre blockiert. Die Einsprecher hätten eine Variante bevorzugt, die an den bestehenden Viadukt bergseits angelehnt eine leichte Stahlkonstruktion vorsah, welche auf die vor 70 Jahren vorbereiteten, auf Holzpfählen stehenden Fundamente abgestellt worden wäre.

In Hanglagen tritt die Gewölbebrücke beim talseitigen Anbau einer zweiten Brücke helligkeitsmässig in den Hintergrund, und der Neubau kann meistens ohne Rücksicht auf das bestehende Bauwerk gebaut werden. In verschiedenen Abschnitten der Nordrampe ist die Bahnlinie zudem von dichtem Wald weitgehend verdeckt. Wichtige Bedeutung kommt hier der Lokführerperspektive zu. Die Betonbalkenbrücken wurden mit einheitlichen Abmessungen der seitlichen Randpartien versehen (Bild 2). Dadurch wird das Kurvenband des Bahntrassees betont und verleiht auch den einfachen Balkenbrükken ein ansprechendes Aussehen. Die einheitliche Gestaltung der Randborde erlaubt auch eine Optimierung der Fahrleitungsmastkonsolen und Geländer, deren Form Einfluss auf das Gesamtbild einer Brücke hat.

Bogenbrücken

Dient das Bauwerk zur Überbrückung eines Seitentales mit steilen Flanken, so ist der Bau einer eleganten Bogenbrükke immer eine gute Lösung, wie die Beispiele Mundbachbrücke und Rotbachbrücke zeigen, obwohl die Spannweite von 40 m eine Trennung von Bogen und Fahrbahn aus statischer Sicht eigentlich nicht rechtfertigt. Die Betonbogen sind wegen der konzentrierten Lasteinleitung aus der Fahrbahn stark armiert. Bei letzterer Brücke hatten bereits die früheren Erbauer eine gemauerte Bogenbrücke mit 40 m Bogenstützweite gewählt.

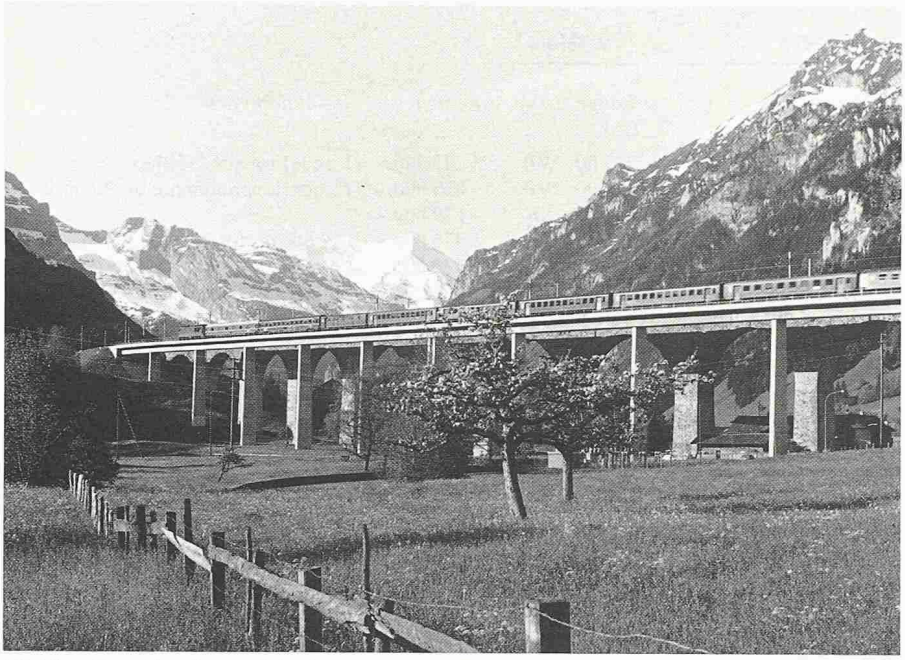


Bild 1. Der Kanderviadukt bei Frutigen: Das Nebeneinander von alter und neuer Betonform verträgt sich gut (wirklich? – Anmerkung des Redaktors)

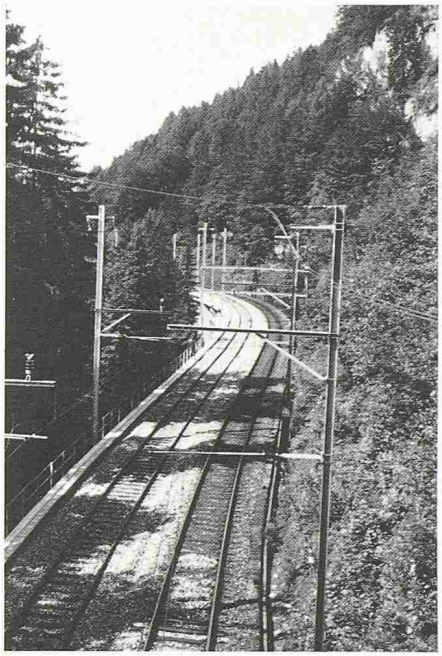


Bild 2. Felsenburgviadukt: Von den Betonbalkenbrücken sind nur die einheitlich ausgebildeten Bordüren sichtbar

Naturstein-Gewölbeviadukte

Der 127 m lange Luogelkinviadukt bei Hohtenn beeindruckt durch die Schlankheit seiner 47 m hohen Pfeiler und die gute Eingliederung der groben Mauerwerksstruktur in die Felslandschaft und typische Vegetation der Lötschberg-Südrampe. Die Verbreiterung wurde hier unter Beibehaltung der alten Form in Stahlbeton ausgeführt und mit Natursteinen verkleidet (Bild 3). Dieser Nachbau der alten Bauweise, die auch bei der Verbreiterung des kleineren Finnengrabenviaduktes oberhalb Visp Anwendung fand, ist aus heutiger Sicht die schönste Lösung.

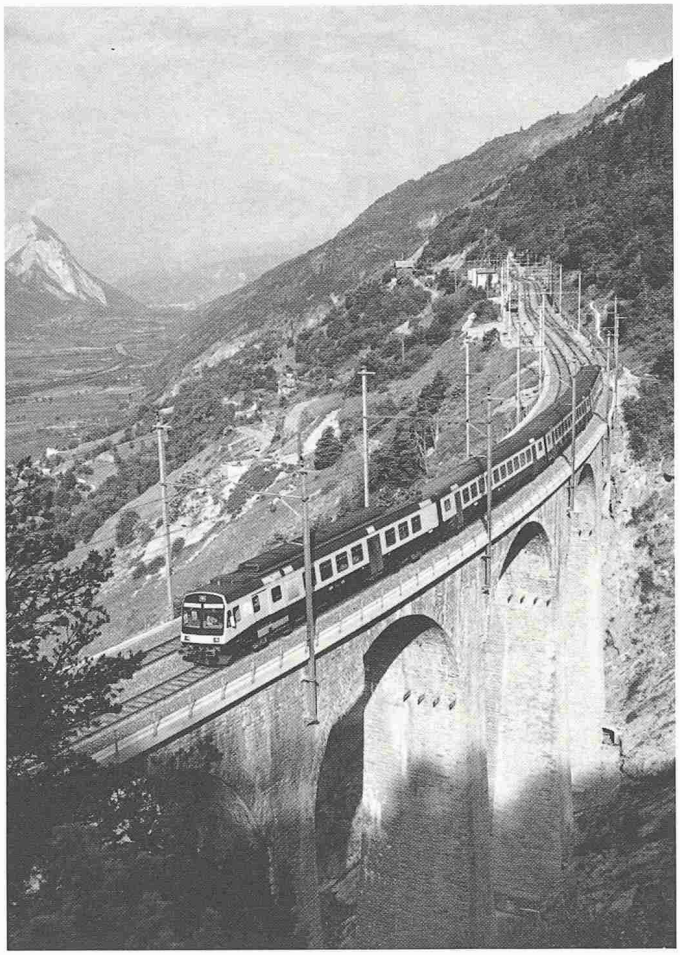
Die Hülle der bestehenden Pfeiler ist mit Kalkstein gemauert, das Innere mit Lockergestein gefüllt. Der Überbau des bestehenden Viaduktes besteht aus fünf gemauerten Gewölben von je 23 m Spannweite und Gewölbestärken von 0,90–1,60 m. Seitlich an den Gewölberändern sind Mauern variabler Dicke aufgesetzt, welche im Pfeilerbereich bis 7 m hoch sind. Der Hohlraum zwischen den Mauern ist bis auf Gleishöhe mit Lockergestein aufgefüllt.

Das zweite Gleis liegt im Abstand von 3,60 m talseitig vom bestehenden. Die Pfeiler wurden um 3,30 m verbreitert, weitere 100 cm konnten durch seitliche Auskragung der neuen Bordüren gewonnen werden. Die Verbreiterung der Pfeiler wurde in täglichen Etappen von 1–2 Steinreihen gemauert und das Pfeilerinnere laufend ausbetoniert. Die Mauerwerkshülle diente dem Beton ohne weitere Stützung als Schalung. Alte und neue Pfeiler wurden mit Ankern zu einem Verbundpfeiler zusammengespannt. Gemauerte Brücken setzen einen guten Baugrund voraus, müssen doch grosse Eigengewichte durch die Pfeiler übertragen werden. Im Falle des Luogelkinviaduktes waren diese Voraussetzungen durch den an der Oberfläche anstehenden Malmkalk gegeben. (Beim Kanderviadukt in Frutigen, welcher mit Holzpfählen in Seeton gegründet ist, schied die Verbreiterung in der alten Bauweise aus diesem Grunde aus). Die neuen Gewölbeverbreiterungen wurden in Stahlbeton mit 0,90–1,40 m Stärke ausgeführt, und die Fahrbahn besteht aus einer 45 cm starken Betonplatte, welche in Abständen von ca. 4,85 m mit Betonquerscheiben auf die Gewölbe abgestützt ist. Gegenüber der gemauerten Bauweise, welche in der Lage ist, die Verformungen aus Belastung, Temperaturänderung und Bremskräften ohne Bildung sichtbarer Risse aufzunehmen, bietet der fünffeldrige Betonrahmen einige Probleme. Um die Längsbewegungen rissefrei zu ermöglichen, wurde die Fahrbahnplatte längsbeweglich auf den Abstützungen gelagert. Die Hohlräume zwischen Bogen und Fahrbahn wurden mit gemauerten Füllscheiben verblendet, die sichtbaren Stirnseiten der Gewölbe kunstvoll in Bogenform gemauert. Einzig auf der Bogenuntersicht blieb der Beton sichtbar, damit die volle statische Höhe des Bogens genützt werden konnte.

Stahlbrücken

Die bedeutendste Stahlbrücke mit einem Stahlgewicht von 1000 Tonnen ist die Bietschtalbrücke (Bild 4). In einem Gleisbogen mit dem Radius 300 m und in einem Gefälle von 22‰ liegend, überspannt sie mit einem Zweigelenkbogen von 96 m Spannweite an enger Stelle das wilde Tobel des Bietschbaches. Trapezförmige Fachwerkträger von 35 m Länge stellen die Verbindung zwischen dem Bogen und den beiden anschliessenden Widerlagern her. Der grosse Bogen war bereits für die Doppelspur erstellt worden, während die Verbindungsbrücken vorerst nur einspurig waren. Bei den Projektierungsarbeiten für den Doppelspurausbau galt es, zunächst durch umfassende Nachrechnung zu überprüfen, ob für die gegenüber früher erhöhten Lasten und Geschwindigkeiten die Erweiterung auf zwei Geleise überhaupt noch möglich sei. Als Verkehrslast waren früher drei 6achsige Lokomotiven mit 18 Tonnen Achsdruck und eine unbeschränkte Anzahl 2achsige Wagen mit 12 Tonnen Achsdruck angenommen worden. Die zur Berechnung der Fliehkräfte massgebende Geschwindigkeit betrug 60 km/h. Mit der heutigen Geschwindigkeit von 80 km/h erhöhte sich die Fliehkraft um 78%. Damit mussten vor allem die Windverbände zur Erhöhung ihrer Knickstabilität verstärkt und die Fahrbahnanschlüsse mit hochfesten Passschrauben ergänzt werden.

Die Tragfähigkeit der Hauptträger reicht indessen auch für die heutigen Verkehrslasten weitgehend aus, weil parallel zur Laststeigerung auch Erhöhungen der zulässigen Beanspruchun-



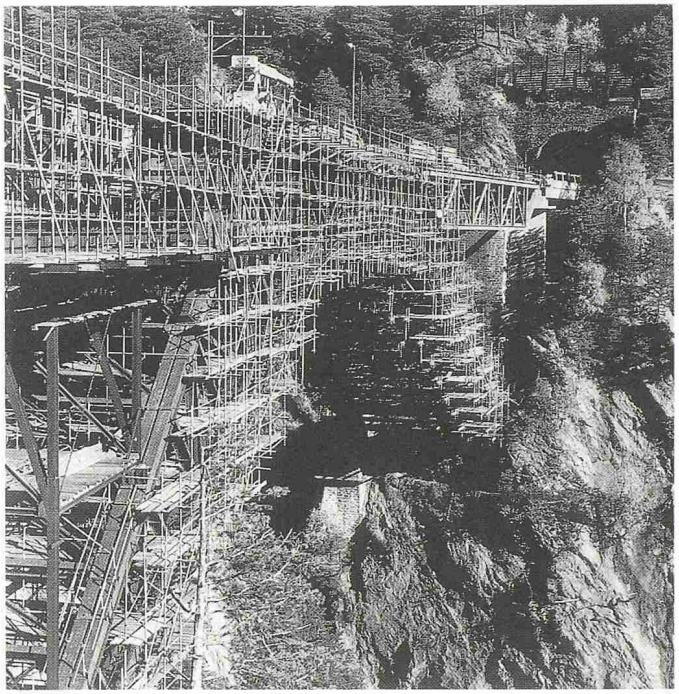


Bild 4. Die Bietschtalbrücke: Umfangreiche Installationen und Gerüste waren zur Verbreiterung, Verstärkung und zum Neuanstrich der alten Stahlkonstruktion notwendig

Bild 3. Der Luogelkinviadukt: Er wurde unter Beibehaltung der alten Form und Struktur verbreitert

gen für Stahl erfolgten, als Ausdruck der Fortschritte in der Herstellung des Stahls und vor allem als Ergebnis der immer besseren Erfassung des Kräftespiels.

Nur die – allerdings zahlreichen – Verbände zeigten Spannungsüberschreitungen. Man schätzte die Kosten für die Verstärkung und den Ausbau um einiges günstiger als den Neubau einer Bogenbrücke. Heute muss festgestellt werden, dass mit den Endkosten von rund 7 Mio. Franken die Bietschtalbrücke das teuerste Objekt des ganzen Doppelspurausbaus war, weil zusätzlich noch zahlreiche konstruktive Mängel und altersbedingte Schäden zu beheben waren. Die Erhaltung eines bedeutenden Bauwerkes schweizerischer Ingenieurkunst rechtfertigt jedoch den Aufwand (Bild 5). Für die Verstärkung wurden rund 23 000 Schrauben und 2000 Nieten eingebaut. Das Gewicht des Verstärkungsmaterials, einschliesslich der neuen Fahrbahn und Gehwegkonstruktionen, betrug rund 150 Tonnen, dasjenige der neuen Vorbrücken rund 230 Tonnen. Damit erhöht sich das Brükkengewicht von ursprünglich 1000 Tonnen auf das Gesamtgewicht von rund 1400 Tonnen. Der Neuanstrich kostete rund 800 000 Franken, die Gerüstungen weitere 800 000 Franken.

Weniger Aufwand erforderte die Erhaltung von Stahlbrücken bei geradem Gleis. Die alte, stählerne Sarengrabenbrücke bei Kandersteg wurde verstärkt und mit einem Neuanstrich versehen; für das zweite Gleis wurde eine 85 m lange Betonbalkenbrücke gebaut.

Beim Bahnhof Brig musste eine zweite 85 m lange Rhonebrücke erstellt werden. Mit Rücksicht auf das bestehende parallelgurtige Stahlfachwerk wurde auch für die neue Brücke die gleiche Bauweise gewählt. Neben der alten, genieteten Fachwerkbrücke tritt der Fortschritt der Stahlbautechnik beim Neubau durch verschiedene Konstruktionsdetails in Erscheinung. Hervorgehoben seien folgende Schwerpunkte:

- Einfachheit: Einwandige Stabquerschnitte ohne Aussteifungen mit allseitiger Zugänglichkeit und Gewähr für besten Korrosionsschutz.
- Sicherheit durch ermüdungsgerecht ausgebildete Fachwerkknoten mit ausgerundeten Flanschübergängen.
- Schottertrog zur Lärmdämpfung und Erhöhung des Fahrkomfortes des Gleises.
- Witterungsunempfindliche Montage der in der Werkstatt vorfabrizierten geschweissten Teile durch geschraubte Verbindungen.

Unter Beachtung dieser Grundsätze entstand ein ästhetisch ansprechendes pfostenloses Dreiecksfachwerk mit einer Montagezeit von nur 8 Wochen (Bild 6).

Gemischte Bauweisen

Zwei Brücken auf der Südrampe wiesen eine gemischte Bauweise auf, da bei diesen Bauwerken zwischen den Gewölbereihen stählerne Balkenbrücken von 40–50 m Stützweite bestanden. Auch bei diesen Stahltragwerken hätte die Zunahme der Fliehkräfte zu allzu grossem Verstärkungsaufwand geführt. Die Bauweise hatte noch einen weiteren Nachteil. Der einseitige Schub der äusseren Gewölbe auf die hohen, das Stahltragwerk tragenden Pfeiler hat zu Verformungen der Pfeiler geführt. Um die langsam vorschreitenden Bewegungen aufhalten zu können, waren bei den Stahlüberbauten Vorspannvorrichtungen eingebaut worden, mit denen über ein Hebelsystem und über die Untergurte der Fachträger ein Gegenschub von rund 100 Tonnen auf die Pfeiler ausgeübt wurde. Beim Jjollibachviadukt war das Stahltragwerk durch einen Lokomotivabsturz im Lawinenwinter 1978 zudem leicht beschädigt. Es wurde im Zuge des Doppelspurausbaus

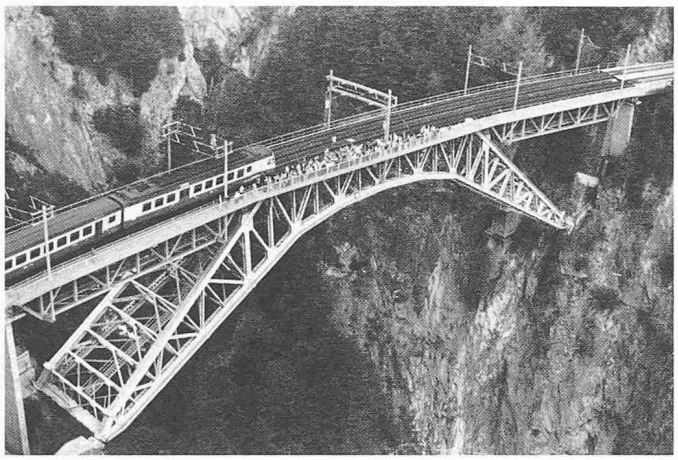


Bild 5. Die Bietschtalbrücke – ein historisches Zeugnis schweizerischer Ingenieurkunst – nach Vollendung ihres Ausbaus



Bild 6. Die alte (links) und die neue Rhonebrücke: die historische Nietkonstruktion mit direkter Schwellenbefestigung neben dem modernen geschweissten, pfostenlosen Dreieckfachwerk in Stahl mit Schottertrog

abgebrochen und durch ein Betontragwerk ersetzt. Das erhöhte Gewicht reicht zur Stabilisierung der Pfeiler aus, weshalb das Problem der Verspannung entfällt.

Eine letzte interessante Brückenbaustelle des Doppelspurausbaus befindet sich im Baltschiedertal (Bild 7). Die 35–40 m hohen gemauerten Pfeiler der Baltschiederbrücke wurden unter Beibehaltung der alten Form und Struktur um 3,8 m verbreitert. Dadurch wurde die Steifigkeit und die Standfläche der Pfeiler vergrössert. Sie sind somit in der Lage, auch die Horizontalkräfte aus dem Bogenschub und der Querbeanspruchung durch Wind- und Fliehkräfte in den Baugrund zu übertragen. Zur Querung des Baltschiedertales für die zweite Spur und den späteren Ersatz des 50 m weitgespannten Stahlfachwerkes des alten Viaduktes wurde eine Betonbalkenbrücke mit Hängestütze erstellt. Dieses Bauwerk hat die Brücken der BLS-Strecke um eine neue, interessante Bauform bereichert. Der Brückenbalken mit einer Spannweite von 50 m wird durch eine 6 m lange Hängestütze in zwei Abschnitte von 25 m unterteilt. Die Stütze wird mit Stahlkabeln unterspannt, welche V-förmig gegen die Brückenenden hin verlaufen und den Brückenbalken in der Mitte entlasten. Die Kabel sind zum Schutz in einen Riegel einbetoniert. Die Unterspannung ermöglicht es, trotz der für Bahnbrücken grossen Spannweite von 50 m die Balkenhöhe schlank zu halten. Die Brücke behält aus ästhetischer Sicht weiterhin die Grundzüge der alten, markanten Stahlfachwerkbrücke mit Halbparabel-Untergurt, berücksichtigt aber die Grundsätze für moderne Brükken in Spannbeton mit durchgehendem Schotterbett. Für das neue, talseitige Gleis wurde ein Dreifeldträger mit den Spannweiten 30, 50 und 23 m gebaut, wobei der unterspannte Teil die Mittelöffnung bildet.

Fundationen

Der Schacht als ideale und vielseitige Brückenfundation

Schon bei der Planung und beim Bau der Lötschberglinie wurde bei vielen Kunstbauten ein späterer Doppelspurausbau berücksichtigt. Die Fundamente der Tragwerke für das zweite Gleis wurden teilweise gebaut. Diese vorbereiteten Fundamente bestehen aus gemauerten Sockeln, die die oberflächennahen Lockergesteinsschichten durchdringen und auf Fels gegründet sind. Schichtung und Klüftung des Felsens war bei der Auswahl der Pfeilerstandorte bereits früher beste Beachtung geschenkt worden. Nicht verwunderlich, denn die steil gegen das Tal zufallenden Schichten auf der Südrampe und die Talklüftung der oberflächennahen Felspartien hatten oft zu Gesteinsausbrüchen geführt, die damals noch nicht mit Felsankern verhindert werden konnten. Bewunderung verdienen die vom Bahnbau herrührenden, sehr verlässlichen Angaben über den anzutreffenden Baugrund, die Felsqualität und die Abmessungen dieser Fundamente. Wer hat heute noch Geduld, diese Fülle von Informationen vom Bau zu Papier zu bringen?

Sofern für die Verbreiterung keine vorbereiteten Sockel vorhanden waren oder andere Überlegungen zu neuen Gründungen führten, erwies sich der Schacht als ideale und vielseitige Fundationslösung. Für den Aushub in Etappen von 1–1,50 m wurde ein Bagger mit Greiferausrüstung, bei Tiefen über 8–12 m eventuell mit Verlängerung verwendet. Im Schutz der Betonringe kann der Aushub bis in grosse Tiefen neben dem Bahngleis sicher erfolgen. Die Begehbarkeit des Schachtes ermöglicht eine genaue Beobachtung des Baugrundes. Bei den Fundamentschächten zur Verbreiterung der Pfeiler bestehender Brücken konnte auch gleich der Zustand der alten Fundamente kontrolliert und deren Sicherheit überprüft werden.

Beim bestehenden Fürtfluhviadukt lagen die Pfeilerfundamente beispielsweise nur 3–5 m tief. Weil der Fels in diesem Bereich stark abfiel, waren die Fundamente der Verbreiterung 10–15 m tief auszuheben. Beim Aushub der Schächte wird der Baugrund und die Umgebung nicht gestört. Die Reibung an den Wänden kann beim Abtragen der Kräfte berücksichtigt werden. Die Tiefe der einzelnen Etappen kann der Standfestigkeit des Bodens angepasst werden. Bei lockeren Schichten kann jederzeit durch Injektionen der Boden verfestigt werden. Schächte können in allen Bodenarten, ausser bei starker Grundwasserströmung (Grundbruch), angewendet werden. Die gewünschte Einbindung des Fundamentfusses in harte Bodenschichten oder Fels ist sogar mittels Sprengung möglich, wobei bei Sprengungen minimale Schutzmassnahmen genügen. In der Schachtsohle sind weitere Massnahmen zur Verbesserung der Tragfähigkeit, wie Fussverbreiterung, Vernagelung usw., möglich. Schächte sind einfach und bei jeder Witterung ausführbar. Bei guter Zufahrt können mehrere Aushübe parallel ausgeführt werden. Die

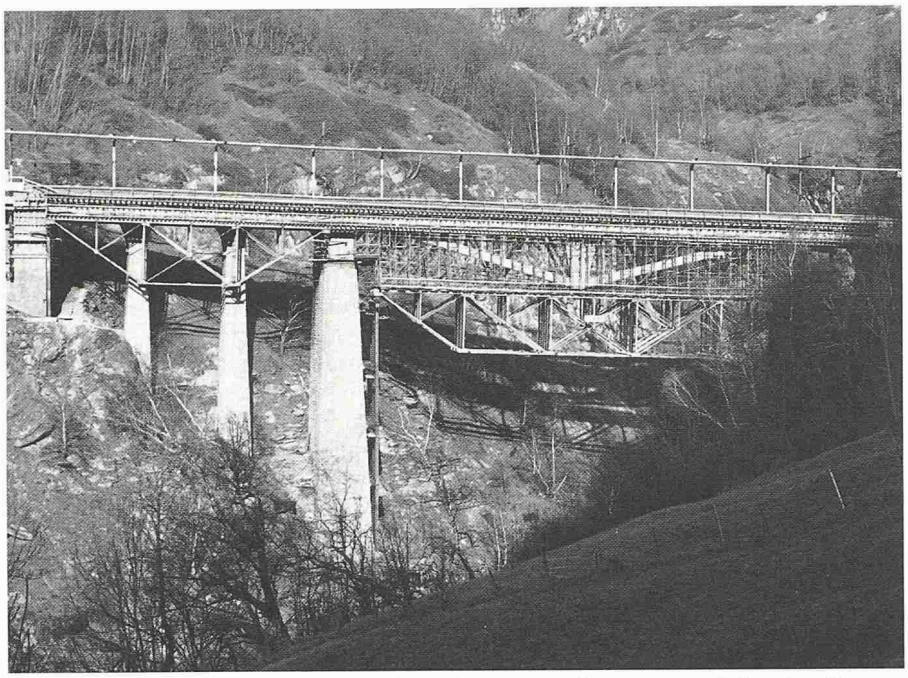


Bild 7. Der Baltschiederviadukt während seines Ausbaus; gut sichtbar ist die neue Betonbalkenbrücke mit unterspannter Hängestütze

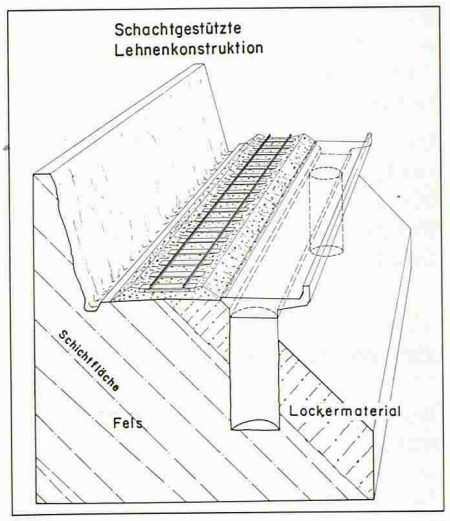




Bild 8a und b. Zur Fundation von zehn (!) Kilometer Hangbrücke wurden mehrere hundert normierte Schächte bis in 12 Meter Tiefe hergestellt

Schächte sind deshalb preiswert, da auch bei relativ hohen Einheitspreisen nur minimale Aushub- und Betonkubaturen notwendig sind und die geringen Aushubkubaturen sich auch günstig auf Abtransport und Deponie auswirken. Durch Normierung der Schachtabmessungen ist ein weiterer Rationalisierungseffekt möglich. Verschiedene Unternehmer haben sich Stahlschalungen angeschafft, die ein rationelles Betonieren der einzelnen Schachtringe ermöglichen. Beim Doppelspurausbau wurden mehrere hundert kreisrunde Schächte mit einem Innendurchmesser von 1,80 m für normierte Hangbrücken erstellt (Bild 8a und b). Nach dem Aushub wurde der Schachtkern in der Regel ausbetoniert und systematisch armiert, womit für alle vorkommenden Überbauten eine genügende Standsicherheit gewährleistet war. Die durchschnittlichen Kosten pro Meter Schacht mit Durchmesser 1,80 m betrugen Fr. 1750.–.

Bauausführung

Die sichere Bauausführung, Erschliessungen und Installationen beim Doppelspurausbau waren geprägt durch die Gegebenheiten des Gebirges sowie die Bedingungen für die Aufrechterhaltung des Bahnbetriebes und die Sicherheit des Personals. Die Bauzeit der Lötschbergbahn betrug nur 7 Jahre (1906–1913), eingeschlossen der Bau des 14,6 km langen Lötschbergtunnels. Während dieser Zeit waren bis zu 8000 Arbeiter beschäftigt gewesen. Der Doppelspurausbau benötigte fast die doppelte Zeit bei maximal ca. 400 Arbeitern, weil der Baufortschritt durch betriebliche Auflagen bestimmt war. Auf der Nord- und Südrampe durfte nicht mehr als je ein längerer Langsamfahrabschnitt infolge Bauarbeiten in Tunnels vorgesehen werden. Die Strecke zwischen zwei Stationen bildete jeweils eine geschlossene Bauetappe. Die Bauzeit einer solchen Etappe betrug 3–4 Jahre, worauf jede neue Strecke unverzüglich in Betrieb genommen wurde, so dass sich laufend betriebliche Verbesserungen verwirklichen liessen.

Erschliessung

Beim Bahnbau wurde die Erschliessung der Baustellen auf der ganzen Streckenlänge mit einer Dienstbahn bewerkstelligt. Die Spurweite der Dienstbahn betrug 0,75 m, der Minimalradius der Geleise 50 m. Unter diesen Umständen sind bedeutende Bauwerke, hölzerne Viadukte, Tunnels und Felsanschnitte, in dem teilweise sehr unregelmässigen Gelände entstanden. Noch heute sind Spuren dieser interessanten Transportbahn vorhanden. Im Bietschtal und Baltschiedertal konnten die alten Dienstbahntunnels mit geringem Aufwand geräumt und das Trassee als Baustellenzugang nutzbar gemacht werden.

Zur Überquerung des Baltschiederbaches wurden an zwei Stellen 25 m lange Fussgänger-Schrägseilbrücken gebaut. Der damit erneuerte Zugang zum westlichen Widerlager der Baltschiederbrücke bleibt erhalten und erlaubt dem Südrampenwanderer eine gute Übersicht über die neue Bahnbrücke.

Beim Doppelspurausbau wurden zur Baustellenerschliessung Baustrassen oder Seilbahnen zu verschiedenen zentralen Installationsplätzen gebaut. Von hier aus konnten die Arbeiten an den Kunstbauten nach beiden Richtungen vor Kopf vorangetrieben werden. Wo aus besonderen Gründen Baustrassen und Seilbahnen nicht möglich waren, wurden Baustellen auf verschiedene Weise per Bahn erschlossen.

Beim Bau von drei Brücken in der Nähe der Dienststation Felsenburg wurden Anschlussgleise durch die vorgängig ausgeweiteten Tunnels erstellt. Beim Ronenwaldviadukt diente ein Podest als Abstellplatz für die Bahnwagen, welches nur etwa 6 m über das Tunnelportal hinausragte und teilweise mit einem Stahlgerüst auf den steil abfallenden Felsen abgestützt werden musste. Zur Schonung des unter Naturschutz stehenden Baltschiedertales wurde ebenfalls auf eine breite Zufahrtsstrasse verzichtet. Das Material, wie grössere Mengen von Beton, Kies, Natursteinen, Silozement und Armierungsstahl, wurde per Bahn zugeführt und in kurzen Zugspausen vom Betriebsgleis abgeladen. Um den raschen

und sicheren Umlad zu gewährleisten, waren Hebezeuge, heizbare Silos und Umblasvorrichtungen für Zement installiert.

Auf der Baustelle Jjollibachbrücke wurde mittels einer provisorischen Verladerampe ein Pendelverkehr per Bahn für Lastwagen und Baumaschinen organisiert.

Längsverteilung von Baumaterial

Die Brückenbaustellen waren gegenüber den mit voller Geschwindigkeit vorbeifahrenden Zügen nur durch einen einfachen Zaun abgetrennt. Die Baustellen waren so zu installieren, dass ein Betreten der Gleisanlage nicht notwendig war. Hiermit konnte bis auf einige Ausnahmen die Installation einer Warnanlage oder das Stellen einer Bahnwache vermieden werden.

Diese Bedingungen stellten im oft steil abfallenden Gelände oder auf Brücken besondere Probleme an die Installationen. Wenn immer möglich wurden durch Aufschüttungen längs der Objekte Baupisten erstellt. In steilen Lagen mussten die Aufschüttungen durch rückverankerte Rühlwände talseits begrenzt werden. Wo Aufschüttungen die Stabilität der Hänge gefährdet hatten, wurden Dienstbrücken oder Gerüstgänge verwendet. Die seitlichen Baupisten erlaubten den Einsatz mobiler Hebezeuge. Hiermit konnte auf die Installation von teuren Schutzgerüsten gegen die Gefahren der Hochspannung der Fahrleitung und das Einragen der Geräte ins Lichtraumprofil der Bahn verzichtet werden, was den Baubetrieb wesentlich erleichtert. Von den Baumaschinenfahrern wird allerdings ein hohes Verantwortungsbewusstsein und absolutes Beherrschen ihres Gerätes verlangt.

Wo die Geländeverhältnisse diese wirtschaftlichste Installationslösung nicht mehr erlaubten, musste entlang der Bauwerke ein Kabelkran oder Turmdrehkran montiert werden. Bei grossen Objekten in engen Gleisradien stellte die Wahl eines geeigneten Hebezeuges mit genügender Reichweite und unter Berücksichtigung des Lichtraumprofils der Bahn mit den Gefahren der Fahrleitung ein zentrales Problem für die Bauunternehmung dar. Eine gute Lösung wurde mit einer seitlich am bestehenden Viadukt befestigten Einschienenhängebahn (Monorail) gefunden. Sie besass eine Tragkraft von 4 Tonnen, bis 25 m Tiefe und 2,5 Tonnen über 25 m Tiefe (Bild 7).

Im Baltschiedertal wurde nebst dem Monorail ein 30 m hoher Turmdrehkran mit 45 m Ausladung im unwegsamen Gelände mit einem Helikopter montiert. Die Einzelteile von max. 3,6 t wurden in 13 Flügen mit dem Super-Puma in 3 Stunden zur Einsatzstelle transportiert und montiert.

Da die Brücken nach Fertigstellung unmittelbar als Zufahrten für das nächstfolgende Objekt zu dienen hatten, musste die Isolation der Brückenfahrbahnen angepasst werden. Alle BLS-Brükken wurden mit Kunststoffbitumendichtungsbahnen isoliert, und als Schutzschicht wurde ein feiner Strassenbelag mit Asphaltbeton 6 verwendet. Bei besonderen Verhältnissen haben sich als Schutzschicht auch Gummigranulatmatten (regenerierte Pneus) bewährt.

Lehrgerüste

Geländeform, Zugänglichkeit und Transport hatten auch einen wesentlichen Einfluss auf die Planung und Systemwahl von Lehrgerüsten. In vielen Fällen hatten sich nach Mass angefertigte leichte Holzkonstruktionen bewährt. Für das Gerüst des 40 m weit gespannten Bogens der Rotbachbrücke kam ein freigespanntes Holzfachwerk-Bogengerüst zum Einsatz. Der Einbau erfolgte in einer ersten Phase mit beidseitigen Fachwerkansätzen im Freivorbau, indem die vorgefertigten Elemente mit Hilfe des Kabelkranes auf die Kämpferfundamente bzw. Absenkvorrichtungen abgesetzt und zurückverankert wurden. In der zweiten Phase erfolgte der Einbau des Fachwerk-Mittelteils zum Bogenschluss. Der Einbau des Bogenlehrgerüstes samt Verbänden erfolgte mit 4 Mann in nur 8 Arbeitstagen.

Auch beim Bau des Kanderviaduktes wurde ein Lehrgerüst aus Holz verwendet. Die Elastizität der schlanken Betonpfeiler führte zur Forderung, dass für die Lehrgerüstträger eine eigene Abstützung gebaut wurde, die zur Versteifung und Verhinderung von Pfeilerkopfverschiebungen während des Betonierens beizutragen hatte.

Für das Lehrgerüst der Baltschiederbrücke wurden 9 m unterhalb der künftigen Fahrbahn jeweils 3, max. 3,5 Tonnen schwere Einzelteile eines Stahlfachwerks mit dem Monorailkran unter Zuhilfenahme von zwei Zwischenabstützungen an der bestehenden Stahlbrücke zu einem 50 m weit gespannten Lehrgerüstträger zusammengebaut. Durch die 8 auf diese Weise versetzten Träger entstand ein Podest, auf dem zunächst ein Rohrgerüst für den Bau der Hängestütze und der V-förmig verlaufenden vorgespannten Betonriegel erstellt wurde. Nach dem Gelingen dieser Arbeiten wurde das Rohrgerüst zum üblichen Schalen und Betonieren des Brückenbalkens und der Fahrbahnplatte ergänzt. Unter dem Eigengewicht der Lehrgerüstkonstruktionen und des Betons betrug die Durchbiegung der 50 m langen Gerüstträger erwartungsgemäss 9 cm. Nach dem Erhärten des Betons wurden die Spannkabel auf 60% der endgültigen Kraft von 1500 Tonnen gespannt, was in der Mitte ein Anheben des Balkens vom Gerüst um 2 cm zur Folge hatte. Das Lehrgerüst kann später für den Abbruch der alten Stahlbrücke als auch für den Neubau der zweiten Betonbrücke wieder verwendet werden. Auf einer vorbereiteten Verschubbahn wird es in wenigen Stunden seitlich verschoben (Bild 7).

Der Bogen der Mundbachbrücke wurde im Freivorbau erstellt, womit das Lehrgerüst vermieden werden konnte, welches besonders im Bereich des Bachlaufes einiges Kopfzerbrechen verursacht hätte. Durch die schrittweise Regulierung der Abspannkräfte der beiden Bogenhälften konnten die Schnittkräfte im Bogen in jeder Bauphase innerhalb bestehender Grenzen gehalten werden. Der Bogen wurde auf beiden Seiten in 10 Etappen erstellt. Die beiden Grundetappen wurden auf einem festen Gerüst betoniert. Wegen des kleinen Abstandes des Bogens von den bestehenden Viaduktpfeilern konnte der Bogen auf dem Vorbaugerüst nicht geschalt werden. Es wurden U-förmig vorfabrizierte Betonelemente verwendet. Nach der Montage der Armierung und der Abschalung der Stirnseite wurden diese ausbetoniert und die Fugen derart ausgebildet, dass trotz des Elementbaus der volle Betonquerschnitt des Bogens wirksam blieb.

Adresse des Verfassers: *Urs Graber*, Oberingenieur BLS, Genfergasse 11, 3011 Bern.