Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 73/74 (1919)

Heft: 6

Artikel: Ueber den Umbau und die Verstärkung der eisernen Brücken auf der Bergstrecke Erstfeld-Bellinzona auf der Gotthardlinie

Autor: Bühler, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-35667

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 04.12.2025

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

INHALT: Ueber den Umbau und die Verstärkung der eisernen Brücken auf der Bergstrecke Erstfeld-Bellinzona der Gotthardlinie. — Die selektiven Korrosionen. — Das Bankgebäude zum Münzhof in Zürich. — Von der Rhätischen Bahn. — Miscellanea: Dampfkraftwerk von 180 000 kW bei Windsor am Ohio. Schweizerische Gesellschaft zur Förderung des gemeinnützigen Wohnungsbaues. Die Gewinnung von Helium-Gas aus Erdgasquellen. Neuer Doppeltunnel unter dem East River bei New York. Technische Hochschule Stuttgart. — Literatur: Automobiltechnisches Handbuch. Berechnung von Rahmenkonstruktionen und statisch unbestimmten Systemen des Eisen- und Eisenbetonbaues. Literarische Neuigkeiten. — Vereinsnachrichten: Gesellschaft ehemaliger Studierender.

Band 74. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. **Nr. 6.**

Ueber den Umbau und die Verstärkung der eisernen Brücken auf der Bergstrecke Erstfeld-Bellinzona der Gotthardlinie.

Von *A. Bühler*, Brückeningenieur der S. B. B.

Bei den Studien für die Einführung des elektrischen Betriebes auf der Bergstrecke Erstfeld-Bellinzona der Gotthardlinie stellte sich die Frage, wie die elektrischen Lokomotiven gebaut werden sollten, um künftig die neue Betriebsart möglichst wirtschaftlich zu gestalten. Um dieses Ziel zu erreichen, sind bei einem grossen Durchgang-Verkehr, wie ihn die Gotthardlinie aufweist, leistungsfähige, schwere Lokomotiven erforderlich, die ermöglichen, die vor der Bergstrecke ankommenden Züge tunlichst ungeteilt über die Steilrampen zu führen, damit bei gegebenem Verkehr die Anzahl der Züge eine gewisse Grenze nicht überschreite.

Das Gewicht der elektrischen Lokomotiven konnte jedoch nicht beliebig hoch gewählt werden, weil sonst die Erneuerung der vorhandenen zahlreichen, eisernen Brücken der Linie unumgänglich gewesen wäre. Diese Objekte waren s. Z. für einen Lastzug von ungefähr fünf Tonnen auf den Laufmeter eines Geleises, bei Achsdrücken von 14 Tonnen, gebaut worden; diese Gewichtansätze entsprachen ungefähr denen, die in der schweizerischen Brückenverordnung vom Jahre 1892 für Hauptbahnen vorgeschrieben waren. Mit dem Anwachsen der Lokomotiv-Gewichte wurden die zur Berechnung der eisernen Brücken der Gotthardlinie angenommenen Lasten erhöht auf 6,7 bis 7,0 Tonnen auf den Laufmeter, bei Achsdrücken von 17 Tonnen. Auch wurden die eisernen Ueberbauten verstärkt, indessen nicht einheitlich, sondern nur von Fall zu Fall und nur für die jeweilen vorhandenen, schwersten Betriebslasten, wobei noch sogenannte Ueberschreitungen der durch die Brückenverordnung festgesetzten zulässigen Spannungen belassen wurden. Ausserdem war es nicht möglich gewesen, für die vielen eisernen Objekte die rechnerischen Nachweise ihrer ausreichenden Tragfähigkeit für die schliesslich verkehrenden schwersten Betriebslasten nachzuführen.

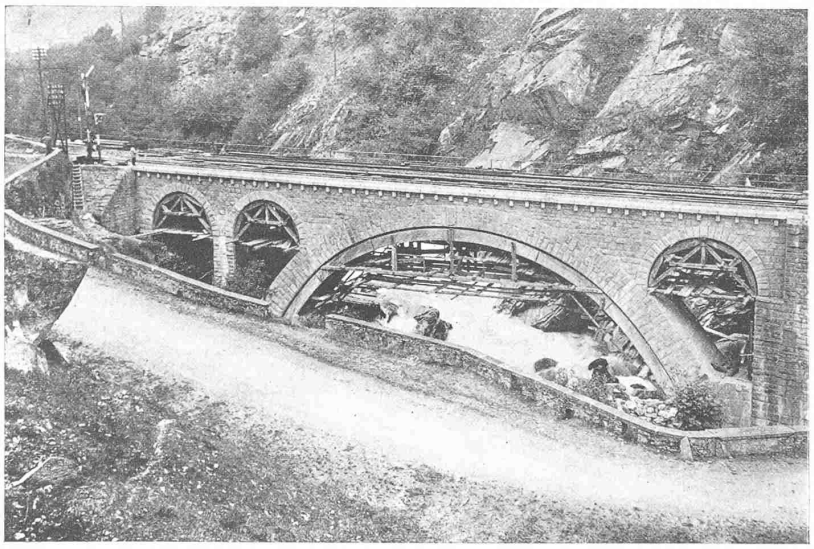


Abb. 5. Neue Tessinbrücke bei Dazio grande für die I. Spur (Geleise rechts). Aufnahme vom 4. Juli 1919. (Siehe auch die Abb. 2, 3 und 4.)

Ende des Jahres 1916 wurde nun zunächst geprüft, ob es nicht möglich sei, die eisernen Brücken der Gotthard-Bergstrecke für den in der neuen Brückenverordnung vom Jahre 1913 vorgeschriebenen Lastzug für Hauptbahnen (Laufmetergewicht 10 Tonnen, Achsdrücke 22 Tonnen) zu verstärken. Es ergab sich, dass für diese Belastung ein grosser Teil der Objekte nicht mehr verstärkbar wäre und erneuert werden müsste. Da jedoch für die zweckmässige Ausbildung der elektrischen Lokomotiven eine Begrenzung des Laufmetergewichtes auf 7 Tonnen nicht als hinderlich erachtet und nur eine Steigerung der Achsbelastung bis auf 20 Tonnen gefordert war, so wurde im Jahre 1917 beschlossen, den Nachrechnungen der eisernen Brücken im allgemeinen nicht die Belastungsnorm der Brückenverordnung vom Jahre 1913 zu Grunde zu legen, sondern eine etwas leichtere, die als provisorische Belastungsnorm (Laufmetergewicht 7 Tonnen, Achsdrücke 20 Tonnen) bezeichnet wurde, und die geeignet war, den Umfang der vorzunehmenden Verstärkungen und Umbauten der eisernen Brücken beträchtlich zu vermindern. Die Wahl einer provisorischen Belastungsnorm geschah im Hinblick auf die finanziellen Folgen umfangreicher Brückenarbeiten und mit Rücksicht darauf, dass deren Fertigstellung auf den nahegerückten Beginn des elektrischen Betriebes als unmöglich angesehen werden musste. Diese Erwägungen haben sich seither als durchaus berechtigt erwiesen.

Es sei noch beigefügt, dass die Lastenschemata der erwähnten provisorischen Belastungsnorm so festgesetzt wurden, dass sie sowohl den in Aussicht genommenen elektrischen, als auch den vorhandenen, schwersten Dampf-Lokomotiven, einen, wenn auch bescheidenen Spielraum zur weiteren Entwicklung offen lassen. Ausserdem wurde in Aussicht genommen, den Nachrechnungen Lokomotiv-Züge zu Grunde zu legen, um für den Betrieb keine einschränkenden Vorschriften mehr erlassen zu müssen.

Die auf Grund der provisorischen Belastungsnorm anzufertigenden statischen Berechnungen waren ursprünglich als Ergänzung vorhandener Unterlagen gedacht. Da nämlich, wie oben bemerkt, nur die Achsdrücke der elektrischen Lokomotiven gegenüber jenen der verkehrenden Betriebmittel wesentlich höher angesetzt waren, so stund zu erwarten, dass sich sowohl die Nachrechnungen, als auch die Verstärkungen in der Hauptsache auf die Fahrbahnteile beschränken würden. Grundsätzlich wurde in Aussicht genommen, die eisernen Brücken der Gotthard-Bergstrecke zu verstärken, falls dies keine grossen Kosten verursache, oder sie zu ersetzen, falls eine Verstärkung teuer und unbefriedigend ausfiele. In letzterer Hinsicht kamen zum vornherein verschiedene ältere, unzweckmässige und unklar arbeitende Brücken in Betracht. Damit der Bestand der neu zu bauenden Objekte, deren Erstellung sehr teuer ist, voraussichtlich nicht wieder infolge des Ueberschreitens der Belastungsgrundlagen durch die Verkehrslasten in Frage gestellt werde, wurde im Verlaufe der Nachrechnungen bestimmt, dass deren Bemessung, sowie überhaupt die aller neuen Brücken, auf Grund eines Belastungszuges zu erfolgen habe, der schwerer ist als jener der Brücken-Verordnung vom Jahre 1913. Dieser Lastzug setzt sich ausschliesslich aus Lokomotiven zu-

sammen, die ein Laufmetergewicht von 11 Tonnen und Achsdrücke von 25 Tonnen besitzen.

Die Durchführung der Nachrechnungen zeigte, dass die vorhandenen statischen Berechnungen nicht so erschöpfend waren, wie anfänglich aus einer summarischen Durchsicht derselben geschlossen wurde. Mit Rücksicht hierauf und auf die ältern und vielfach stark beanspruchten Ueberbauten wurde daher bald der Entschluss gefasst, die Nachrechnungen neu aufzustellen und hierbei, soweit es die gebotene Eile zuliess, auch den gegenwärtig an derartige Arbeiten zu stellenden, strengern Anforderungen zu genügen. Letztere betreffen hauptsächlich die Berechnung von Knoten-Punkten, exzentrischen Anschlüssen und verschiedener Zusatz-Spannungen. Zwei weitere Umstände beeinflussten die Verhältnisse noch in ungünstiger Weise. Seit der Erbauung der Gotthard-Bergstrecke ist nämlich die zulässige Fahrgeschwindigkeit der Züge nach und nach von 55 *km/h* auf 65 *km/h* erhöht worden; in den Nachberechnungen wurde sie auf 70 *km/h* angesetzt und für die Strecke Bodio-Bellinzona auf 90 *km/h* erhöht. Dies ergab für die zahlreichen in scharfen Kurven gelegenen, eisernen Brücken des öftern erhebliche grössere Zusatz-Kräfte als früher berücksichtigt worden waren. Sodann musste auf vielen Brücken Vorsorge für die Unterbringung der Uebertragungsleitung (vom Unterwerk Steinen bis zum Unterwerk Giornico) getroffen werden. Die dafür vorgesehenen Kabel werden auf den Brücken in Betonkanäle gelegt und ergeben auf deren Laufmeter Zusatzgewichte von 400 bis 500 *kg*.

Diese Umstände, die einzeln betrachtet keine wesentlichen Folgen gehabt hätten, verursachten aber, zusammengenommen, dass die Ergebnisse der Nachrechnungen meist ungünstiger ausfielen, als jene früherer statischer Berechnungen; daher wurden schliesslich zur grössern Sicherheit die Abmessungen der Glieder und Verbindungen noch kontrolliert.

Der Umbau der eisernen Brücken der Gotthardlinie.

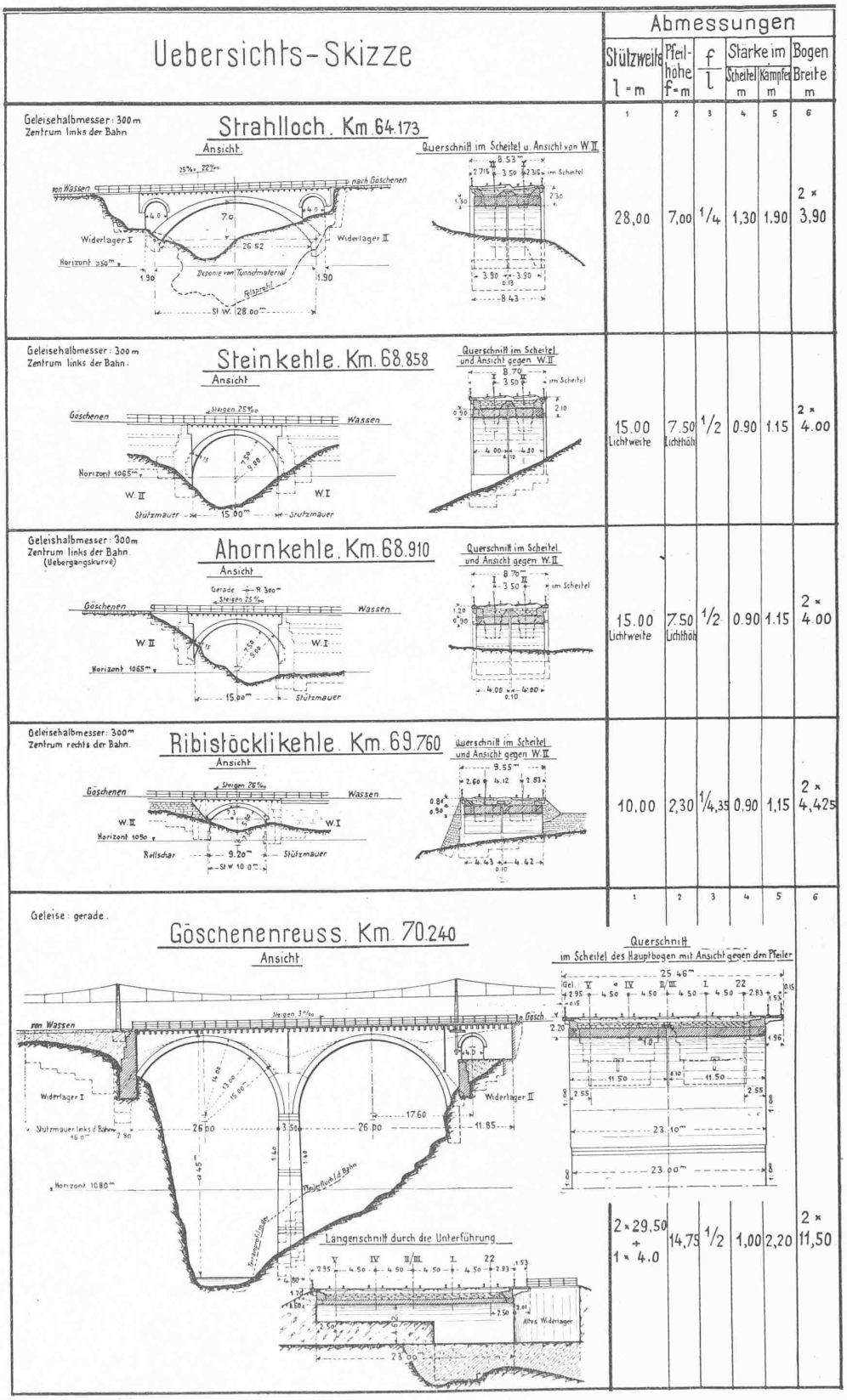
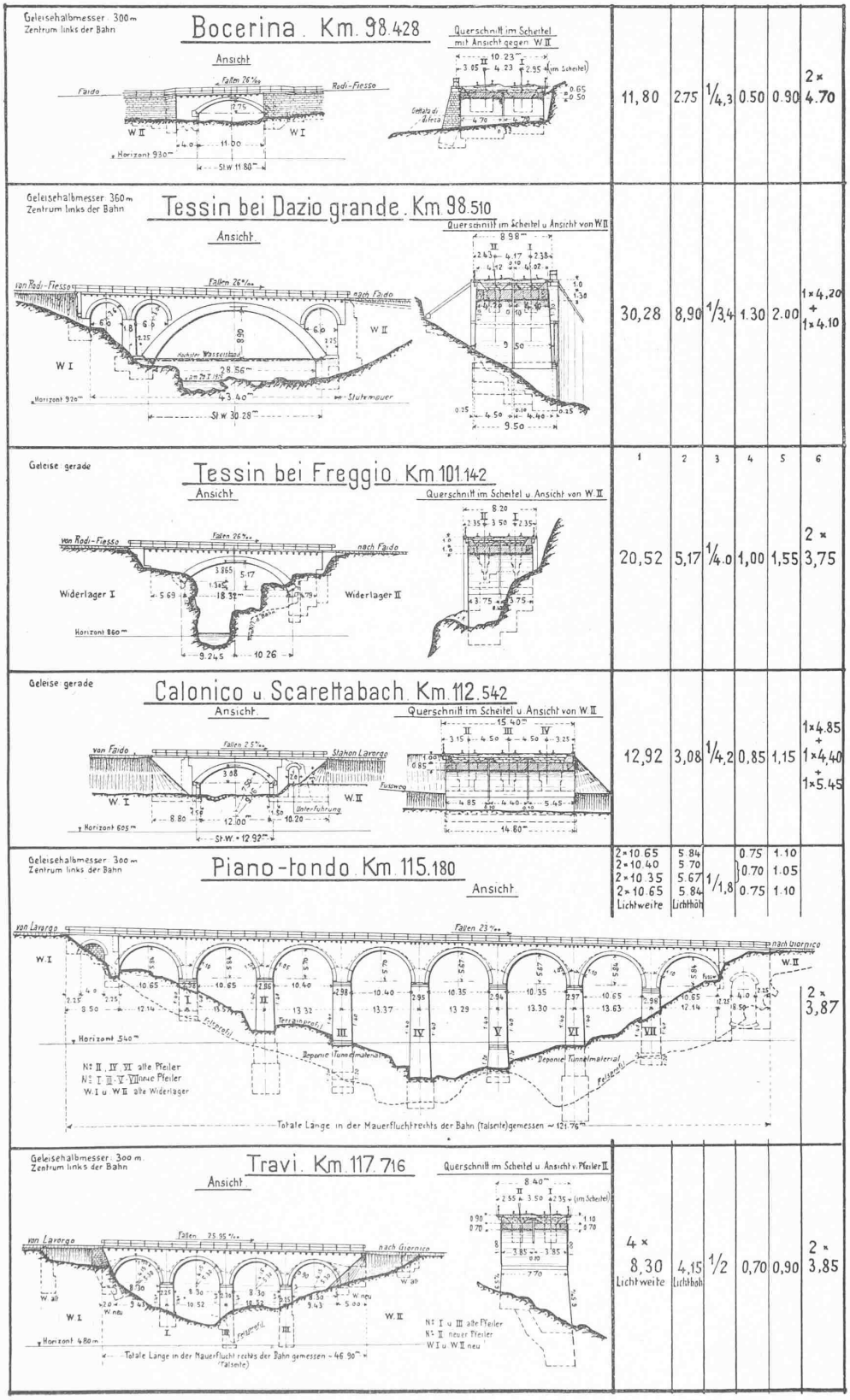


Abb. 1. Die fünf steinernen Ersatzbrücken auf der Nordrampe. — Ansichten 1 : 1000, Querschnitte 1 : 650.

Die Nachrechnungen der eisernen Brücken der doppelgeleisigen Gotthard-Bergstrecke umfassten 119 Objekte, die 275 fast durchwegs *verschieden* ausgebildete Ueberbauten enthielten, nämlich: 119 Ueberbauten mit *Fachwerkträgern* von 10 bis 77 *m* Stützweite, 104 Ueberbauten mit *Voll-*

Der Umbau der eisernen Brücken der Gotthardlinie.



	1	2	3	4	5	6
Bocerina	11,80	2.75	1/4,3	0.50	0.90	2 × 4.70
Tessin bei Dazio grande	30,28	8,90	1/3,4	1.30	2.00	1 × 4,20 + 1 × 4.10
Tessin bei Freggio	20,52	5,17	1/4.0	1,00	1,55	2 × 3,75
Calonico u Scarettabach	12,92	3,08	1/4,2	0,85	1,15	1 × 4.85 + 1 × 4,40 + 1 × 5.45
Piano-tondo	2 × 10.65 2 × 10.40 2 × 10.35 2 × 10.65 Lichtweite	5.84 5.70 5.67 5.84 Lichthöhe	1/1,8	0.75 0.70 0.75	1.10 1.05 1.10	2 × 3,87
Travi	4 × 8,30 Lichtweite	4,15 Lichthöhe	1/2	0,70	0,90	2 × 3,85

Abb. 2. Die sechs steinernen Ersatzbrücken auf der Südrampe. Ansichten 1 : 1000, Querschnitte 1 : 650.

wandträgern bis 16 *m* Stützweite, und 52 kleine Ueberbauten mit *Schienenlagen* und Holzbalken.

Auf Grund der Ergebnisse der Nachrechnungen und anderer Erwägungen, die hier nicht aufgeführt werden können, wurde bestimmt, es seien:

a) 74 Ueberbauten mit Fachwerkträgern und 24 Ueberbauten mit Vollwandträgern zu *verstärken* bezw. in einigen Fällen zu *erneuern* (39 Objekte).

b) 78 Ueberbauten mit einbetonierten Trägern und 58 Ueberbauten mit einbetonierten Schienen *umzubauen* (60 Objekte).

c) 26 Ueberbauten durch steinerne Brücken und 10 Ueberbauten durch Zementrohre zu *ersetzen* (16 Objekte), sowie

d) 10 Ueberbauten *eingehen* zu lassen (4 Objekte) und die Oeffnungen durch Dammschüttungen (mit eingebauten Durchlässen) zu schliessen.

Hierin sind die durch die Erweiterungen der Stationen Göschenen, Airolo und Bellinzona bedingten *Umbauten* bestehender eiserner Brücken eingeschlossen.

Hinsichtlich der an den *eisernen Brücken anzubringenden Verstärkungen* sei bemerkt, dass sie im wesentlichen folgende Arbeiten umfassten: Einbau sekundärer Wind-Verbände, Verbesserung der Anschlüsse der Längs- und Querträger und der Hauptwindverbände, Erneuerung von Fahrbahnteilen, Herstellung von geraden Fahrbahn-Abschlüssen, Anpassung der Längsträger an die Geleiseüberhöhung, Verstärkungen von Knotenpunkten, Vernietungen von Einzelprofilen zur Erhöhung deren Knicksicherheit und Steifigkeit, sowie Einbau von Versteifungs-Stäben. Nach Beendigung der bezüglichen Arbeiten darf der Zustand der noch verbleibenden eisernen Brücken als ein durchaus sicherer und befriedigender angesehen werden.

Der Entschluss, eine grössere Anzahl vollwandiger Ueberbauten durch *einzubetonierende Träger oder Schienen zu ersetzen*, wurde dadurch erleichtert, dass es möglich war, in vielen Fällen die vorhandenen Träger, nach Entfernung der Farbe und der überflüssigen Konstruktionsteile, wieder zu verwenden. Auf diese Weise gelang es, den Umfang der neu zu beschaffenden, teuren Träger erheblich einzuschränken.

Die neuen steinernen Brücken.

In gewölbte Brücken, auf die allein hier etwas näher eingetreten werden soll, werden elf eiserne Objekte umgebaut, wozu voraussichtlich noch ein Weiteres kommen wird. Fünf dieser Objekte, mit einem Ausmass von rund 11 000 m^3 Mauerwerk, befinden sich auf der Nordrampe der Gotthard-Bergstrecke; die übrigen sechs, die auf der Südrampe gelegen sind, besitzen ein Ausmass von ungefähr 9500 m^3 Mauerwerk. Diese Ersatzbauten, die an der gleichen Stelle wie die vorhandenen Brücken ausgeführt werden, sind in den Abbildungen 1 und 2 dargestellt, aus denen auch deren Hauptabmessungen ersichtlich sind. Es seien folgende orientierende Bemerkungen beigefügt.

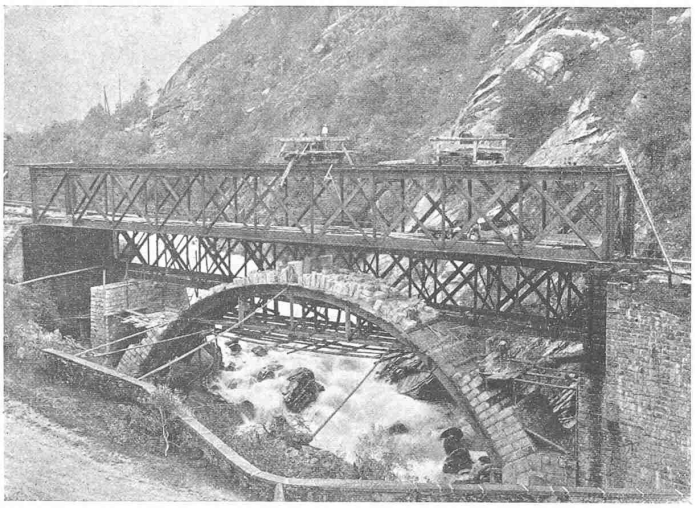


Abb. 4. Tessinbrücke bei Dazio grande. Beginn der Einwölbung der neuen Brücke für die I. Spur. — Aufnahme vom 18. Sept. 1918.

Die eiserne *Brücke über das Strahlloch* übersetzte mit einer Oeffnung von 30 *m* Weite eine ursprünglich tiefe Schlucht, die jetzt mit Material aus den benachbarten Tunnel aufgefüllt ist. Zunächst schien für den Ersatzbau ein Viadukt zweckmässig zu sein; um aber den Bau tiefer Schächte in der Tunneldeponie zu vermeiden, wurde schliesslich zwischen den bestehenden Widerlagern ein Gewölbe mit einer einzigen Oeffnung vorgesehen. Zwei kleinere Sparbogen von je 4 *m* Lichtweite stützen sich einerseits auf den Hauptbogen, anderseits auf die vorhandenen, unverändert gelassenen Widerlagerbänke.

Bei der *Stein-, der Ahorn- und der Ribistöcklikehle* werden die Lichtweiten zwischen den vorhandenen Widerlagern der eisernen Objekte durch die einzubauenden Gewölbe nicht geändert, der hier niedergehenden Lawinen wegen. Für die Erstellung der Gewölbekämpfer sind daher Einbrüche in das bestehende Mauerwerk der Widerlager erforderlich.

Der *Viadukt über die Göschenenreuss* wird neben der heutigen Brücke, die 65 *m* Stützweite aufweist, erstellt; er kommt in die in Erweiterung begriffene Station Göschenen zu liegen und erhält 23 *m* Breite zur Aufnahme von fünf Geleisen. Auf einer Seite wird, auf Konsolen aus Eisenbeton, ein 1,5 *m* breiter Gehsteg angefügt. Die Widerlager des bestehenden und später aufzulassenden Objektes werden nach Abbruch der Eisenkonstruktionen zum Abschluss der Stationsplätze dienen.

Die eiserne *Brücke über die Bocerina* besitzt 16 *m* Stützweite und wird durch ein Gewölbe von 11 *m* Lichtweite ersetzt. Bei der unmittelbar darauf folgenden *Tessin-Brücke bei Dazio grande* (Abbildungen 3 bis 5) kann der 45 *m* weit gespannte Ueberbau mit einem Gewölbe von 28,6 *m* Lichtweite und mit anschliessenden Sparöffnungen von 6,0 *m* Weite umgebaut werden. Die einen Kämpfer der letzteren kommen auf die bestehenden Auflagerbänke zu liegen, wie dies aus Abbildung 5 (Seite 61) hervorgeht, die eine Ansicht der bis auf das Geländer fertiggestellten gewölbten Brücke für das Geleise rechts (I. Spur) zeigt. Abbildung 3 lässt erkennen, wie die in diesem Geleise liegende Eisenkonstruktion zur Gewinnung des für das grosse Gewölbe erforderlichen Raumes gehoben und durch Schwellenstapel auf die bestehenden Widerlager abgestützt wurde, und wie darunter die Aufstellung der aus hölzernen Bogen Hetzer'scher Bauweise bestehenden Lehrgerüste erfolgte. Aus der Abbildung 4 ist die nach Entfernung der Querverbindungen und der Fahrbahn zur Material-Zufuhr benützte eiserne Brücke und der Beginn der Einwölbung des grossen Bogens ersichtlich.

Die neue *Tessinbrücke bei Freggio*, mit 18,3 *m* Lichtweite, die bei der Ausführung auf etwa 19 *m* vergrössert werden musste, ersetzt eine eiserne Brücke von 30 *m* Stützweite. Auch bei der *Brücke über den Calonico- und Scaretta-Bach* konnte die vorhandene Lichtweite um 3,0 *m* vermindert werden, sodass Einbrüche in das vorhandene Widerlagermauerwerk zur Erstellung der Kämpfer der Gewölbe nicht nötig wurden.

Der *Piano-tondo-Viadukt* (vergl. Abb. 2, sowie die Abbildung 6 bis 9 auf den Seiten 66 und 67) erhielt s. Z. vier Ueberbauten von je 25 *m* Stützweite, die durch zwei Widerlager (W_I und W_{II}), sowie durch drei Pfeiler (II, IV und VI) getragen werden. Ein Umbau in Stein konnte nur so erfolgen, dass zwischen den bestehenden Pfeilern neue Pfeiler (I, III, V und VII) erstellt und die letztern mit den ersteren durch Bogen von ungefähr 10,4 *m* Weite verbunden werden. Bei der Bauausführung war darauf Rücksicht zu nehmen, dass die bestehenden Pfeiler eigentlich aus zwei Teilen bestehen. Beim Bau der zweiten Spur der Gotthardlinie (1887 bis 1893) wurde nämlich das zur Verbreiterung des Unterbaues der Brücken erforderliche Mauerwerk des öftern ohne Verband an das vorhandene der I. Spur (erbaut 1878 bis 1882) angefügt. Bei den Pfeilern entstanden auf diese Weise durchgehende, dem Anzug parallele Fugen, wie dies in der Abb. 6 (S. 66) gut erkennbar ist. Da nun die Erstellung eines gewölbten Viaduktes einen Abbruch der Köpfe der bestehenden Pfeiler um ein erhebliches Mass bedingt (siehe Abb. 7, S. 67), so musste aus leicht ersichtlichen Gründen die Erstellung

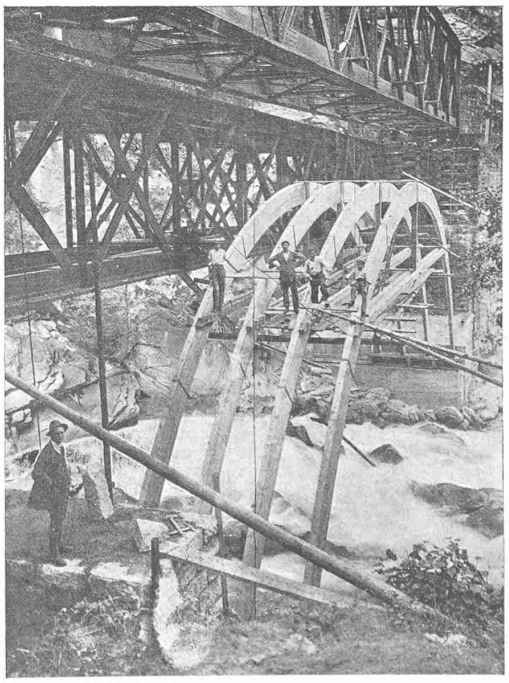


Abb. 3. Tessinbrücke bei Dazio grande. Erstellen des Lehrgerüstes nach Heben des Fachwerkträgers. — 5. September 1918.

der ersten Hälfte des steinernen Viaduktes in der II. Spur begonnen werden. Die Abbildung 6 zeigt, wie die eisernen Ueberbauten der II. Spur gehoben und bei den Auflagern auf Unterzüge abgestützt wurden, um Raum für den Bau der Gewölbe zu gewinnen. Die Unterzüge stützen sich einerseits auf die Eisenkonstruktionen der I. Spur, anderseits auf Joche, die auf in Kämpferhöhe befindliche, durch Abbruch eines schmalen Streifens der bestehenden Pfeiler gewonnene Absätze aufgestellt wurden. Hierauf konnte mit dem Abbruch der vorhandenen Pfeiler auf die erforderliche Breite und Höhe und mit der Erstellung der Gewölbe begonnen werden, ohne den Betrieb auf dem Geleise I zu gefährden. Aus den Abb. 7 und 9 ist ersichtlich, dass die gehobenen eisernen Ueberbauten, in ähnlicher Weise wie bei der Tessinbrücke bei Dazio grande, als Transport- und Hülfs-Gerüste Verwendung finden. Die Abbildung 8 zeigt eine talseitige Ansicht des im Umbau begriffenen Objektes mit den bis zur Kämpferhöhe der Gewölbe auf die ganze Viaduktbreite fertiggestellten neuen Pfeilern.

Der *Travi-Viadukt* bestand aus drei Oeffnungen mit je 20 *m* Stützweite. Ein Teil des Talprofiles liess sich mit Vorteil durch eine Dammschüttung ersetzen. In der Mitte der beiden Endöffnungen wurden daher neue Widerlager und in der Mitte des Viaduktes ein neuer Pfeiler (II) ausgeführt; über diesem neuen Grundbau und den bestehenden zwei Pfeilern (I und III) konnten hierauf vier gleiche Bogen erstellt werden. Im übrigen entspricht im allgemeinen der Bauvorgang jenem beim Piano-tondo-Viadukt. Dies ergibt auch ein Vergleich der Abbildungen 8 und 10. Abbildung 11 zeigt eine talseitige Ansicht des zur Zeit beinahe fertiggestellten Viaduktes.

Abb. 11. Travi-Viadukt. Erstellung der Gewölbe für die I. Spur nach Abbruch der eisernen Ueberbauten. — Aufnahme vom 4. Juli 1919.

Vom Umbau der eisernen Brücken auf der Gotthardlinie.

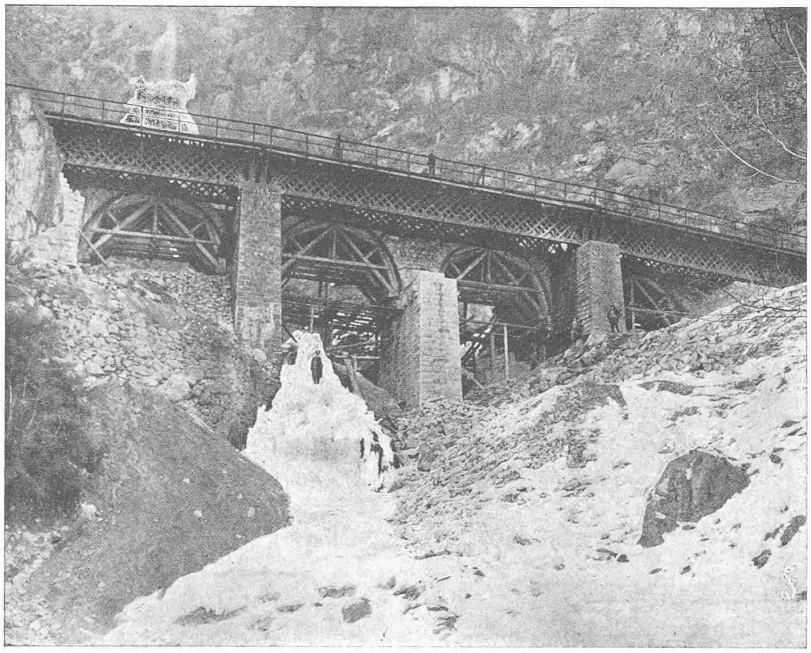


Abb. 10. Travi-Viadukt; Erstellung der Ersatzbrücke für die II. Spur (bergseitiges Geleise). Der neue Mittelpfeiler ist bereits auf der ganzen Brückenbreite fertiggestellt. — 12. Februar 1919.

Wie aus diesen kurzen Andeutungen hervorgeht, hat es sich als glückliche Fügung erwiesen, dass beim Bau der Gotthardlinie die Weite der Oeffnungen der eisernen Brücken reichlich bemessen wurde, sodass es zumeist möglich ist, die steinernen Ersatzobjekte zwischen den vorhandenen Widerlagern zu erstellen, ohne an den letztern erhebliche Aenderungen vornehmen zu müssen; dadurch lassen sich Störungen und Gefährdungen des Betriebes in hohem Masse verringern. Als weiterer glücklicher Umstand kam zu statten, dass die eisernen Objekte der Gotthardlinie für jedes Geleise unabhängige Ueberbauten besitzen. Bei dem gegenwärtigen flauen Betrieb können daher jeweilen, nach Ausserbetriebsetzung eines Geleises der Doppelspur, die in Frage kommenden Ueberbauten, je nach dem getroffenen Entscheide, in üblicher Weise verstärkt, umgebaut oder ersetzt werden. Dieser Bauvorgang kommt bei den steinernen Ersatzbrücken darin zum Ausdruck, dass sie von Unterkante der ursprünglich vorhandenen Eisenkonstruktion oder von den Kämpfern der eingebauten Gewölbe an, *zweiteilig* sind. Die Fugen sind ungefähr 10 *cm* breit gewählt. Diese Zweiteilung soll auch im Aufbau durchgeführt werden; erstens, um die Uebertragung von Erschütterungen und Bewegungen auf das im Bau befindliche Gewölbe zu verhindern, zweitens um durch einen symmetrischen Aufbau eine gute Versteifung und Lastverteilung zu bewirken und um Rissbildungen infolge seitlicher Drücke der Auffüllung und der Zentrifugalkräfte zu verhindern.

Es sei noch bemerkt, dass die steinernen Ersatzbrücken, wie auch die Verstärkungen der eisernen Brücken, durch eine grössere Anzahl der Unternehmungen in „régie coïntéressée" ausgeführt wird. Daneben ist noch eine im Dienste der Bahnverwaltung stehende Brückenrotte tätig, die kleinere und grössere Brückenarbeiten durchführt, die sich zu einer Vergebung nicht gut eignen.

Die Kosten der in Ausführung begriffenen Brücken-Bauten auf der Gotthard-Bergstrecke Erstfeld-Bellinzona werden angenähert betragen:

1. Brückenverstärkungen ungefähr 2 Millionen Franken
2. Einbetonierte Träger und Schienen (Umbauten) ungefähr 1,5 Millionen Franken
3. Steinerne Ersatzbrücken „ 2,5 „ „

Die Abrechnungssumme wird sich voraussichtlich zwischen 6 und 7 Millionen Franken bewegen.

Nach Abschluss dieser Arbeiten werden somit 80 Objekte mit 182 Ueberbauten (bezw. Oeffnungen) so umgebaut oder neu erstellt sein, dass sie jeder voraussichtlich noch zu erwartenden Zunahme der Verkehrslasten genügen dürften. Ferner werden 39 Objekte mit 98 eisernen Ueberbauten so verstärkt sein, dass ihre Tragfähigkeit im hohen Masse gesichert ist. Eine weitere Verstärkung oder eine Ersetzung dieser Brücken würde erst dann nötig, wenn die Lokomotiv-Gewichte nochmals beträchtlich erhöht

werden müssten, was aber in absehbarer Zeit kaum nötig sein wird.

Die Entwürfe für die vorstehend erwähnten Brückenbauten sind mit einigen wenigen Ausnahmen durch das Brückenbaubureau des Oberingenieurs bei der Generaldirektion aufgestellt worden. Die Ausführung der projektierten Bauten liegt in den Händen der Organe der Kreisdirektion V, die vielleicht später Anlass nehmen werden, über Einzelheiten der vorstehend erwähnten Brückenarbeiten näher zu berichten.

Bern, im Juli 1919.

Die selektiven Korrosionen.

Die Bedingungen ihres Entstehens und die Mittel, sie zu verhüten.

Von Oberingenieur *F. v. Wurstemberger*, Zürich.

Unter Korrosionen versteht man Zerstörungserscheinungen, die auf Auflösung der Substanz, nicht lediglich auf Auswaschungen oder sonstige mechanische Abnützungen zurückzuführen sind. Für Anfressungen ganz lokalen Charakters an sonst gesunden Metallteilen ist die Bezeichnung: *Selektive Korrosion* üblich geworden, offenbar in der Annahme, dass infolge einer gewissen wählerischen Tätigkeit eines an sich unbekannten Faktors eine Selektion stattfinde, die den Angriff auf bestimmte Stellen geringerer Widerstandsfähigkeit konzentriere. Wohl mit Recht dürfte man diese Erscheinungen jedoch „*Zufalls-Korrosionen*" nennen. Jedenfalls war das Studium der Zufälligkeiten, die sie herbeiführen können, fruchtbarer als das Suchen nach dem Grund, warum gerade eine bestimmte Stelle und nicht eine andere benachbarte von anscheinend so geringer Widerstandsfähigkeit war.

Elektrochemisches [1]).

Die Erscheinung, dass ein in eine Flüssigkeit eingetauchtes Metall angegriffen wird, gehört chemisch unter den allgemeinen Begriff der Lösung fester Körper in flüssigen und gehorcht, soweit sie ein umkehrbarer Vorgang ist, dem Massenwirkungsgesetz, wonach ein solcher Vorgang bis zu einem gewissen Gleichgewichtszustand fortschreitet, der gegeben ist durch ein bestimmtes, ihm eigentümliches Verhältnis der aktiven Massen der entstehenden und verschwindenden Stoffe zu einander. Bei diesem Gleichgewichtszustand ist die Lösungstension, d. h. das Bestreben des festen Körpers, in Lösung zu gehen, gleich der Abscheidungstendenz, d. h. dem Bestreben der gelösten Teile, feste Form anzunehmen.

[1]) Benützte Literatur: *Treadwell*, Analytische Chemie; *Daneel*, Elektrochemie; *Alexander Smith*, Lehrbuch der anorganischen Chemie.

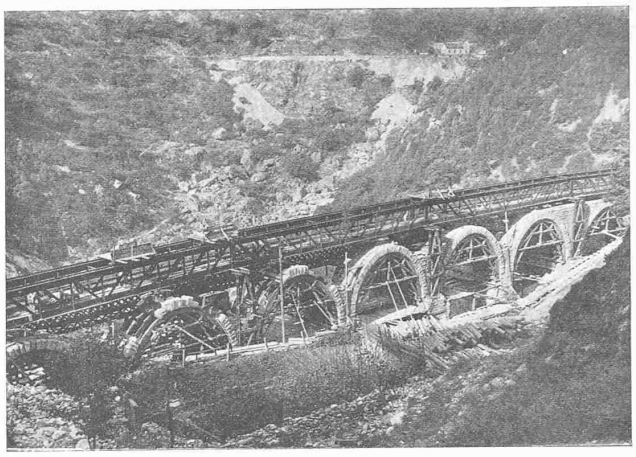


Abb. 9. Piano-tondo-Viadukt, talwärts gesehen. Stand der Arbeiten für die Ersatzbrücke der II. Spur am 4. Juli 1919.

Im Falle der Metallauflösung tritt weiter hinzu, dass Metalle nur als mit positiven Elektronen verbundene Atome, sogenannte positive Ionen in Lösung gehen können; negative Elektronen bleiben auf dem Metallstück zurück und erteilen ihm ein bestimmtes, gegenüber der Flüssigkeit negatives Potential. Als Faktoren des Gleichgewichts treten hier also auch elektrische Ladungen, Elektronen auf, bezw. deren entsprechende Potentiale, sofern diese nicht durch direkte Entladung anderer in der Lösung befindlicher Metall-Ionen (z. B. Wasserstoff- oder Kupfer-Ionen) oder durch Ableitung der Ladungen an Elektroden positiven oder wenigstens geringeren negativen Potentiales ihren Ausgleich finden.

Die Entstehung dieser Potentialdifferenz zwischen Metall und Flüssigkeit wirkt auf den Vorgang der Ionen-Bildung in demselben hindernden Sinne wie die Zunahme der Ionenkonzentration in der Flüssigkeit. Das Eintreten eines Gleichgewichtszustandes und damit das Aufhören der Metallauflösung kann deshalb auch dann eintreten, wenn die Menge des Lösungsmittels als unendlich gross in Rechnung gestellt werden muss, wie es z. B. beim Betrieb mit immer neu zuströmendem Wasser der Fall ist, und somit eine wesentliche Erhöhung der Ionenkonzentration und das Erreichen eines Gleichgewichtes auf Grund des Massenwirkungsgesetzes nicht stattfinden kann. Bedingung hierfür ist nach dem Gesagten, dass die negative elektrostatische Ladung des eingetauchten Metalles keinen Abfluss finde. Ist dagegen ein Abfluss dieser Ladung möglich, z. B. in kurzgeschlossenen, galvanischen Elementen, so geht die

Der Umbau der eisernen Brücken auf der Bergstrecke der Gotthardbahn.

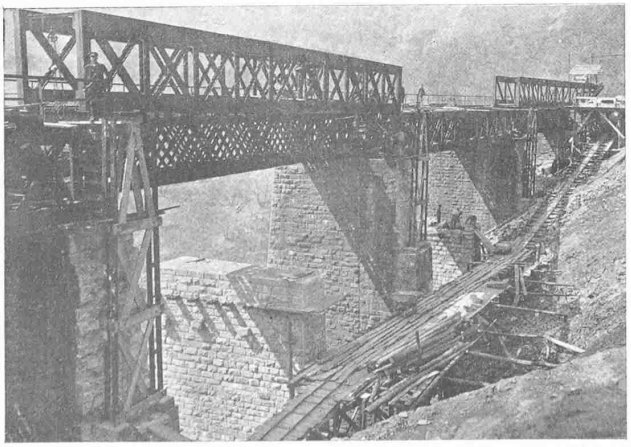


Abb. 6. Piano-tondo-Viadukt, talwärts gesehen. In Hebung begriffene eiserne Ueberbauten der II. Spur. — Aufnahme vom 12. April 1919.

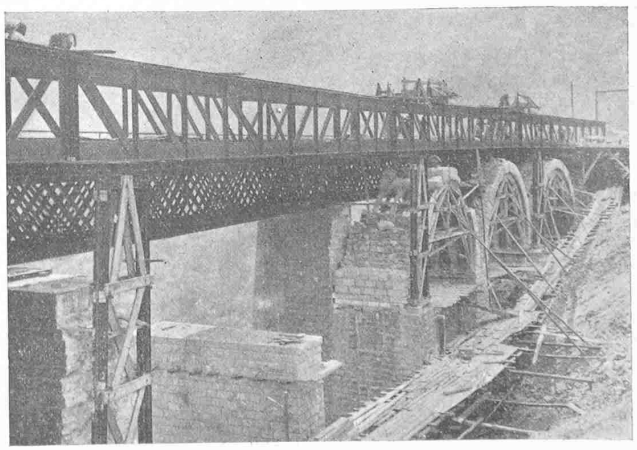


Abb. 7. Piano-tondo-Viadukt. Beginn der Einwölbung für die II. Spur nach Hebung der Eisenkonstruktionen. — Aufnahme vom Mai 1919.

Auflösung der unedleren der beiden Elektroden auch in Flüssigkeiten vor sich, die selbst dem Metalle keine Gelegenheit zur direkten Ionenbildung bieten, auf dem Wege der Verdrängung von Wasserstoff- oder Edelmetall-Atomen. In solchem Falle geht die Metallauflösung zunächst mit grosser Intensität vor sich, kommt aber nach und nach zum Stillstand infolge der hemmenden Wirkung der aktiven Massen und der Potentiale der neu entstandenen Stoffe. Diese Erscheinung, die überall dort auftritt, wo eine erste Metallauflösung infolge der Ausgleichmöglichkeit der elektrischen Ladungen stattfindet, wird als Polarisation bezeichnet. Von ihr wird noch eingehender die Rede sein.

Bei technischen Anlagen, die mit elektrisch leitfähigen, also ionenhaltigen Flüssigkeiten zu arbeiten haben, z. B. Pumpen und Kühlanlagen für Salzlösungen oder Meerwasser, muss der Möglichkeit der Entstehung galvanischer Ströme besondere Beachtung geschenkt werden, umso mehr, als gerade bei ausgedehnten Kühlrohrsystemen die Verhältnisse in dieser Beziehung nichts weniger als übersichtlich liegen.

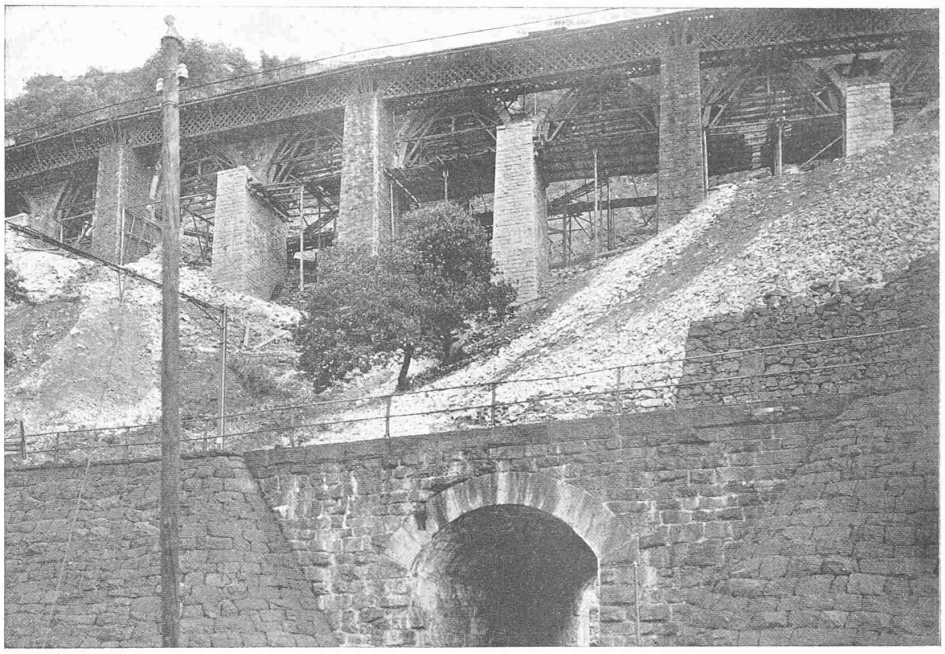


Abb. 8. Piano-tondo-Viadukt; Erstellung der Ersatzbrücke für die II. Spur (bergseitiges Geleise). Im Vordergrund die mittlere Linie der Bahnentwicklung in der Biaschina. — Aufgenommen am 4. Juli 1919.

Das Problem.

Wenn nun diesen allgemeinen Gesetzmässigkeiten entsprechend in Kombinationen zweier Metalle offensichtliche Zerstörungsgefahr für das unedlere der beiden Metalle vorhanden ist, so sollte man anderseits annehmen dürfen, dass relativ edle Metalle wie Kupfer und seine Legierungen in Lösungen ohne saure Reaktion nicht angegriffen würden, denn die heutige Metallurgie stellt Produkte, besonders Kupferlegierungen her, deren Gewichts-Abnahme beim Verweilen in Salzlösungen so gering ist, dass eine Zerstörung von Maschinenteilen aus solchem Material in absehbarer Zeit nicht zu erwarten sein sollte. Tritt das Metall ausserdem in Kombination mit einem unedleren, wie z. B. Eisen, auf, so sollte der Schutz ein vollkommener sein.

Trotzdem sind aber die Erfahrungen der Praxis bei Verwendung von Kupfer und Kupferlegierungen in Salzwasser-Betrieben oft sehr schlechte. Anstände infolge Defektwerdens von Pumpenteilen und von Kondensator-Kühlrohren bei Meer- und Grubenwasserbetrieb sind Fabrikanten und Zentralen-Besitzern zur Genüge bekannt. Englische Metallurgen reden von dem „ever lasting problem of corrosion", und von Konstrukteuren und Praktikern werden alle möglichen Heilmittel angepriesen und versucht. Da das Problem scheinbar aller chemischen Theorie zum Trotz besteht, mag es entschuldbar sein, dass die meisten dieser Vorschläge sich nur ganz oberflächlich oder gar nicht mit ihr auseinandersetzen. Sie haben alle das eine für sich, dass sie merkwürdigerweise hie und da geholfen haben, und gegen sich, dass sie in sehr vielen Fällen versagten.

Aber gerade die Tatsache, dass die Erfahrungen der Praxis mit den verschiedenen Abwehrmitteln so widersprechende waren, und die Beobachtung, dass Korrosionen bei verschiedenen Anlagen mit scheinbar gleichen Betrieb- und Wasserverhältnissen, ja selbst bei ein und derselben Anlage zu verschiedenen Zeiten mit sehr ungleicher Heftigkeit auftraten, liess es nicht hoffnungslos erscheinen, die Lösung des Problems zu suchen. Wenn sogar Zufälligkeiten im Betriebe, und bald dieses bald jenes Hilfsmittel von sichtbarem Einfluss waren, musste doch eine Abhilfe möglich sein, wenn einmal nach Erlangung von Klarheit über die Vorgänge zielbewusst vorgegangen werden könnte.

Die Hauptschwierigkeit, die sich der Erforschung der Ursachen dieser Korrosionserscheinungen bisher entgegenstellte, war die, dass es unmöglich ist, die Erscheinung in der Praxis in ihrer Entstehung zu beobachten und ihre Entwicklung zu verfolgen. Die Korrosionen treten, der fortlaufenden Beobachtung unzugänglich, z. B. im Innern der im Kondensator eingebauten wasserdurchströmten Rohre auf. Im besten Fall kann nach Wochen oder Monaten eine Stichprobe genommen werden, die mehr oder weniger fortgeschrittene Korrosionen zeigt. Weiter erschwerend ist das Auftreten von Schlamm und Kesselsteinschichten und ferner der Umstand, dass sich viele der gebildeten Salze beim Trocknen verändern.

Die Abhilfebestrebungen mussten sich deshalb meist darauf beschränken, empirisch Schutzmittel auszuprobieren, ohne sich über die Ursache des Schadens, den sie zu heben sich bemühten, im klaren zu sein.

Der Versuchs-Plan.

Ein anderer, voraussichtlich aber ebenfalls langer Weg stand noch offen; er sei im Folgenden charakterisiert:

Es mussten durch Ueberlegungen alle denkbaren in Frage kommenden Faktoren ermittelt, gesichtet, in Einzel-Versuchen durchforscht und ihre Wirkung in bestimmter, bekannter Kombination mit andern geprüft werden. Erst wenn es durch diese so erworbenen Kenntnisse möglich wurde, solche selektive Korrosionen willkürlich zu erzeugen und ihr Fortschreiten zu beschleunigen, mussten auch Mittel gefunden werden können, um die sie verursachenden und befördernden Faktoren zu beseitigen. Diese Ueberlegungen diktierten das Versuchsprogramm.

Die Annahme einer *Unhomogenität der Legierung* als Ursache wurde von vorneherein ausgeschaltet, denn es bestehen genug Untersuchungen, die ergeben haben, dass das Auftreten solcher Korrosionen auch an durchaus einwandfrei homogenem Material als feststehende Tatsache angesehen werden darf. Selbstverständlich aber müssen sich gleichartige Materialien unter gleichen Verhältnissen auch gleich verhalten.

Wenn nun, wie die uns interessierende Erscheinung zeigt, eng benachbarte Stellen ein und desselben Materials sich in ihrer Widerstandsfähigkeit, bezw. Löslichkeit durch-