

Zeitschrift:	Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber:	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band:	97/98 (1931)
Heft:	15
Artikel:	Belastungsversuche an der Eisenbeton-Bogenbrücke der Chur-Arosa-Bahn bei Langwies
Autor:	Roš, M.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-44757

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: 21.02.2026

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

INHALT: Belastungsversuche an der Eisenbeton-Bogenbrücke der Chur-Arosa-Bahn bei Langwies. — Der wahrscheinliche Druckverlust unkonstant strömender Flüssigkeiten im Betriebe. — Lokomotivkran von 105 t Tragkraft. — Schweizerische Starkstrom-Kontrolle. — Mitteilungen: Elektromagnetische Fernregistrierung von Erschütterungen, Durchlaufspeicherung bei Flusskraftwerken, Kieselgur und ihre Verwendung als Wärmeisolator, Bahnhofskühlhaus A.-G., Basel, Basler Rheinhafen-

verkehr. 9. Internationale Automobil- und Fahrrad-Ausstellung in Genf. Verbreitung des Lastautomobils in Frankreich. Zum Chef des Bebauungsplanbüro der Stadt Genf. Schweizerische Bundesbahnen. — Nekrolog: Wilhelm Schüle. — Wettbewerbe: Bebauungsplan Stockholm. — Literatur. — Eidgen. Technische Hochschule. — Mitteilungen der Vereine.

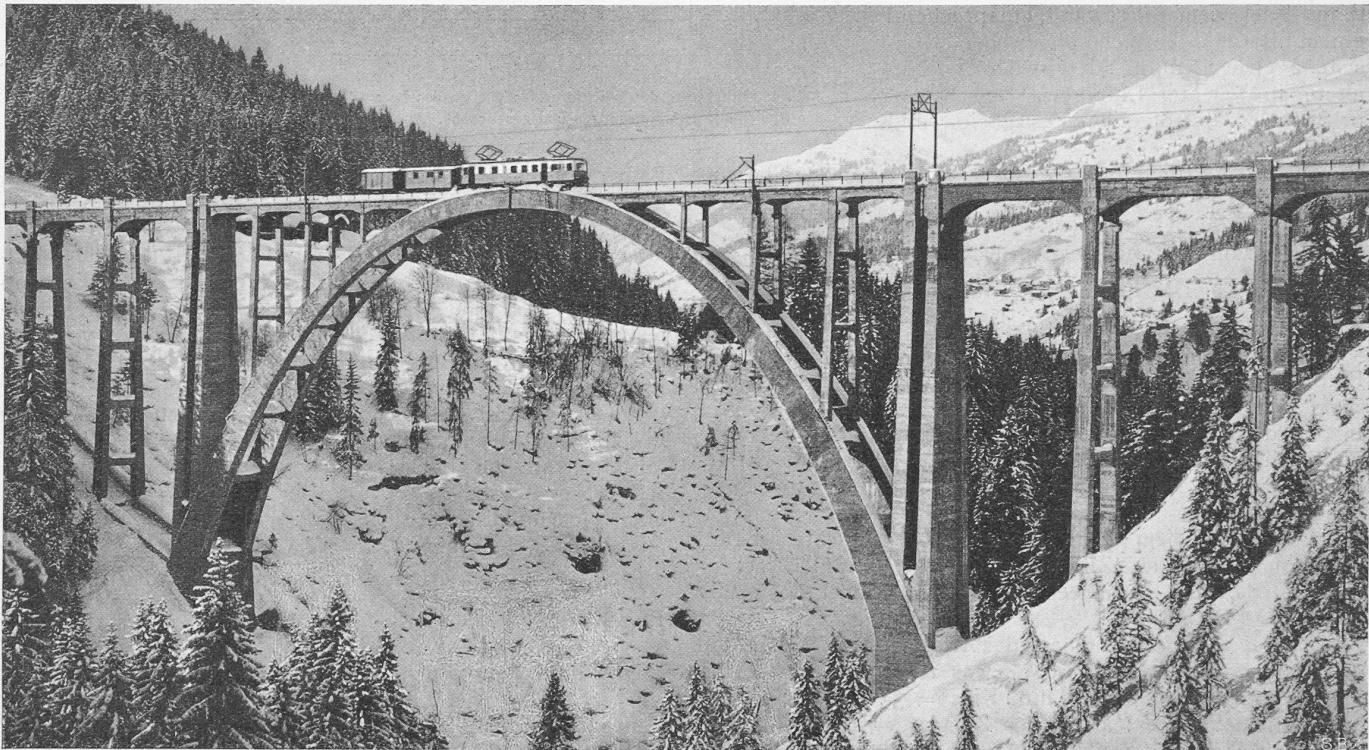


Abb. 1. Eisenbetonbrücke von 100 m Spannweite der Chur-Arosa-Bahn über die Plessur bei Langwies, flussaufwärts geschen. Erbaut 1912/14 von Ed. Züblin & Cie. A.-G., Zürich, nach eigenem Entwurf.

Belastungsversuche an der Eisenbeton-Bogenbrücke der Chur-Arosa-Bahn bei Langwies.

Von Prof. Dr. M. ROŠ, Direktor der E. M. P. A., Zürich.

[Für die systematische Nachprüfung massiver Brücken durch Messungen am fertigen Bauwerk, Untersuchungen, mit denen sich der Verfasser in den letzten Jahren eingehend abgibt, hat er eine Reihe geeigneter Typen aus Stein, Beton und Eisenbeton gewählt, und zwar nicht nur neuerrichtete, sondern auch ältere Objekte. Dadurch ergeben sich Vergleichsmöglichkeiten nicht nur über das Verhalten der verschiedenen Baustoffe, sondern auch über die Einflüsse des Alters nach Zeit, Witterungseinflüssen, ursprünglichen Baustoffeigenschaften u. a. m. Als typische Beispiele haben wir aus seinen Arbeiten für die Berichterstattung in der „S. B. Z.“ ausgewählt: von *Gemauerten Brücken* als neue die Bergeller-Brücken („S. B. Z.“ Bd. 97 S. 19, vom 11. Juli d. J.), als „alte“ das Hauptgewölbe des Wiesener Viadukts der Rh. B. (S. 55, 1. Aug. d. J.); von *Eisenbeton-Brücken* als jüngstes Bauwerk die Landquart-Brücke der Rh. B. in Klosters (S. 37, 18. Juli d. J.) und als „alte“ den 100 m weit gespannten Bogen der vor bald 20 Jahren erbauten Langwieser Brücke der Chur-Arosa-Bahn.¹⁾ Die Untersuchungen dieser letztgenannten verdienen besonderes Interesse auch deshalb, weil der Verfasser vor Jahresfrist an Ort und Stelle noch etwa 20 Betonwürfel entdeckt hat, die seit ihrer Herstellung während des Brückenbaues dort im Freien gelegen haben, somit allen Witterungseinflüssen ausgesetzt waren, die auch auf den Beton der Brücke selbst eingewirkt haben. Daraus haben sich auch wertvolle Anhaltspunkte für die kontrollierende Materialprüfung ergeben, über die aus diesem Grunde nachstehend ausführlich berichtet werden soll. Red.]

¹⁾ Vergl. „Schweiz. Bauzeitung“ Band 65, S. 280 (19. Juni 1915).

Der in den Jahren 1912 bis 1914 von der Ed. Züblin & Cie. A.-G. erbaute Talübergang der Chur-Arosa-Bahn über die Plessur bei Langwies, Abb. 1 bis 3, wurde im November 1929 ausgedehnten Belastungsversuchen und einer eingehenden Nachprüfung des Betonzustandes unterzogen. Die ganz allgemein für die Eisenbeton-Bauweise interessanten Feststellungen betreffend das elastische Verhalten, die Festigkeit und Frostbeständigkeit bilden den Gegenstand des nachfolgenden Berichtes.

I. VORVERSUCHE.

1. *Vorversuche im Laboratorium der E. M. P. A.* Die im August/September 1913 durchgeföhrten Untersuchungen betreffend die Normenprobe des verwendeten schweizerischen Portlandzementes „Unterterzen“, das Sand-Kies-Material, sowie die Betonproben schwach plastischer Konsistenz führten zu nachfolgenden Ergebnissen:

a) Portlandzement: Spez. Gewicht 3,09; Feinheit der Mahlung als Rückstand auf dem 4900-Maschensieb $R_{4900} \sim 7,5\%$; Abbindezeiten (auf $+15^\circ\text{C}$ bezogen) Beginn 4 h 30 min, Ende etwa 22 h.

Festigkeiten, erdfeuchter Normenmortel 1:3, Wasserrägerung nach 7 Tagen 28 Tagen
Zugfestigkeit, 8^{er} Körper 29,2 41 kg/cm²
Druckfestigkeit, Würfel 7×7×7 cm 271 430 "

Der verwendete Portlandzement ist ein fein gemahlener ausgesprochener Langsambinder von hervorragenden Festigkeitseigenschaften.

b) Sand-Kies-Material: Für die Betonherstellung gelangte gewaschenes, nach Sand bis 8 mm und Kies von

8 bis 30 mm sortiertes Moränenmaterial im Mischungsverhältnis von $\sim 1:2$ zur Verwendung.

c) Beton: Die Portlandzement-Dosierung betrug 300 kg (Marke „Unterterzen“) auf eine Mischung von 400 l Sand und 833 l Kies (Sand:Kies $\sim 1:2$). Die Anmachwassermenge wurde zu 150 l, im Mittel 6,5% des Gewichtes der Trockensubstanzen (Sand, Kies, Zement) gewählt, entsprechend einem Beton schwach plastischer Konsistenz. Die Prüfung der sechs Wochen alten, in feuchter Luft gelagerten Betonprismen ergab folgende Festigkeits- und Elastizitätszahlen:

Prismendruckfestigkeit ($12 \times 12 \times 36$) $pr\beta_d = 242 \text{ kg/cm}^2$
Würfeldruckfestigkeit ($12 \times 12 \times 12$) $w\beta_d = 315 \text{ "}$
Biegezugfestigkeit $\beta_b = 44,6 \text{ "}$
Dehnungszahl für Druckbeanspruchungen bis $\sigma \sim 0,3 \text{ pr}\beta_d$;
 $a_e = \frac{1}{364000}$. Die Prismendruckfestigkeit beträgt $0,77 = \sim 0,80$ der Würfeldruckfestigkeit.

2. Die Vorversuche auf der Baustelle bezüglich des Einflusses der Sand-Kies-Mischung, der Menge des Wassersatzes und der Zementdosierung auf Festigkeit und Dichtigkeit des Beton führten zur Erkenntnis, dass für eine praktisch gut mögliche Bauausführung und für die Erzielung der erforderlichen Dichtigkeit und der vorgeschriebenen Mindest-Würfeldruckfestigkeiten im Alter von 28 Tagen von plastischem Beton 180 kg/cm^2 , erdfreiem Beton 250 kg/cm^2 folgende Zusammensetzung zu wählen ist:

Portlandzement Marke „Unterterzen“: Zementdosierung 300 kg/m³ Beton;

Sand = Porenvolumen des Kiesmaterials (im Mittel 40%) + 20% = rund 60%, was zum heutigen bewährten Mischungsverhältnis von Sand:Kies = 3:5 führt;

Anmachwasser: 40% des Zementgewichtes.

Berücksichtigt man die natürliche Feuchtigkeit des gewaschenen Sand-Kiesmaterials auf der Baustelle von normalerweise $\sim 2\%$, so ergibt sich die Anmachwassermenge im Mittel zu $\sim 7\%$ des Gewichtes der Trockensubstanzen, entsprechend einem schwach plastischen Beton.

Die mit im Sand gelagerten Prismen von $12 \times 12 \times 36$ cm Grösse im Alter von sechs Wochen erreichten Mittelwerte der Druckfestigkeiten waren: Würfeldruckfestigkeit = 389 kg/cm^2 , Biegezugfestigkeit = $68,5 \text{ kg/cm}^2$.

Mit gleichzeitig erstellten und gleichartig gelagerten Würfeln von 20 cm Kantenlänge wurden im Alter von 28 Tagen Druckfestigkeiten erreicht von im Mittel 387 kg/cm^2 , mit Abweichungen von $\pm 10\%$.

Diese Ergebnisse der Vorversuche auf der Baustelle, mit 389 bzw. 387 kg/cm², stimmen mit dem der auf gleiche Konsistenz und gleiches Alter umgerechneten Vorversuche im Laboratorium der E. M. P. A. von 360 kg/cm^2 gut überein. Die oben erwähnte Zusammensetzung des Beton wurde auch für die Bauausführung vorgeschrieben und sorgfältig überwacht.

II. KONTROLLVERSUCHE WÄHREND DER AUSFÜHRUNG.

Die Kontrollversuche wurden täglich durchgeführt. Auf je 60 m³ fertigen Beton musste mindestens eine Serie von vier Würfeln $20 \times 20 \times 20$ cm angefertigt werden. Jede 6. Serie wurde in der E. M. P. A. überprüft. Die Mittelwerte der Würfeldruckfestigkeiten des mit 300 kg Portlandzement dosierten schwach plastischen Beton ergeben folgendes Bild:

	im Alter von	7	28	56	100	Tagen
Bogen		263	382	424	487	kg/cm ²
Pfeiler und Fahrbahn-Stützen		248	382	424	456	"
Fahrbahn-Längs-, -Querträger		257	370	382	420	"
Gesamtmittelwerte		256	378	418	465	kg/cm ²

Seit der Fertigstellung des Langwieser Viaduktes im Herbst des Jahres 1914 wurden in den Jahren 1925 und 1930/31 noch weitere Druckversuche mit während des

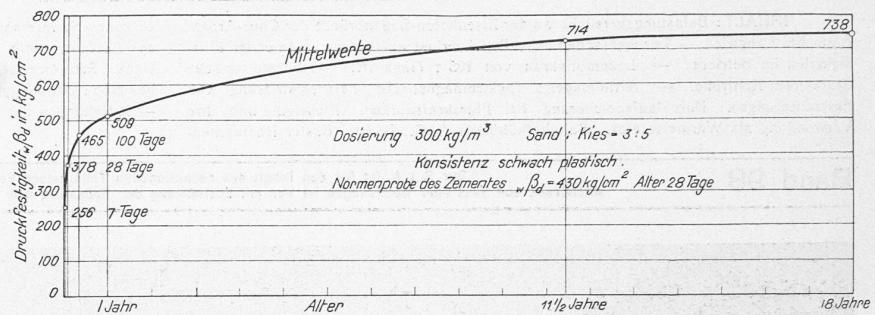


Abb. 4. Mittelwerte der Würfeldruckfestigkeiten des Beton der Fahrbahn, der Pfeiler und Fahrbahnstützen und des Bogens. Alter bis 18 Jahre.

Baues erzeugten und sodann am Bauwerk selbst gelagerten, also den gleichen Zeit- und Witterungseinflüssen ausgesetzten Betonwürfeln durchgeführt. Die Gesamtmittelwerte aller Würfeldruckfestigkeiten sind in der Abb. 4 in Abhängigkeit vom Alter graphisch dargestellt. Auch der Gesamtmittelwert der auf der Baustelle erzielten Würfeldruckfestigkeiten stimmt mit den Mittelwerten der Vorversuche auf der Baustelle und im Laboratorium der E. M. P. A. praktisch genau überein.

Die Einzelwerte der Druckfestigkeiten einer Serie bis zu acht Würfeln weichen von den zugeordneten Serien-Mittelwerten um höchstens $\pm 10\%$ ab. Die extremen Abweichungen der Mittelwerte der jeweiligen Versuchsserien vom Gesamtmittelwert, in % der jeweiligen Mittelwerte ausgedrückt, betragen:

	im Alter von Tagen:	28	100
Bogen		{ + 22 %	+ 10 %
		{ - 34 %	- 16 %
Pfeiler und Fahrbahnstützen		{ + 26 %	+ 25 %
		{ - 19 %	- 27 %
Fahrbahn-Längs-, -Querträger u. -Platte		{ + 33 %	+ 17 %
		{ - 18 %	- 20 %
Mittelwerte		{ + 27 %	+ 17 %
		{ - 24 %	- 21 %

Abweichungen der Festigkeits-Mittelwerte der einzelnen Serien vom Gesamtmittelwert in den durch die neuen Schweiz. Eisenbeton-Vorschriften laut Entwurf 1931 vorgesehenen Grenzen von -25% traten auch bei der vordentlich organisierten und gewissenhaft überwachten Baustelle des Langwieser Viaduktes ein, wodurch ein weiterer Beweis für die Berechtigung dieser vorgesehenen Toleranz erbracht ist.

Die relativen Verhältniszahlen der Würfeldruckfestigkeiten, auf das Alter von 28 Tagen bezogen, betragen: Alter Tage: 7 28 56 100; Jahre: 1 11 1/2 18 68 100 110 123 134 190 196 %

III. MEßUNGSERGEBNISSE AM FERTIGEN BAUWERK.

Am 19. November 1929 erfolgten die eingehenden Belastungsversuche mit einem Belastungszug von 53 m Länge und 120 t Gesamtgewicht. Diese Untersuchungen führten zu nachfolgenden Feststellungen (Abb. 5 bis 9):

1. Der grosse Bogen zeigte ein vollkommen elastisches Verhalten.

2. Die gemessenen lotrechten Durchbiegungen für drei Laststellen — Viertel Langwies, Scheitel, Viertel Arosa — weisen ganz regelmässigen Verlauf auf. Die gemessenen Drehungen entsprechen gut der Form der jeweiligen Biegelinien. Die grösste lotrechte Senkung im Bogenscheitel erreicht 1,96 mm, die grösste lotrechte Scheitelhebung 0,45 mm. Die zugeordneten rechnerischen Werte für den Bogen allein ohne Ueberbau betragen für die Scheitel-senkung 1,98 mm, und für die Scheitelhebung 0,49 mm. Im Bogenviertel (Seite Langwies) betragen: die grösste lotrechte Senkung 1,35 mm, die grösste Hebung 1,22 mm.

3. Die Summeneinflusslinie der Bewegungen der Fahrbahnfuge über dem Widerlager von Langwies zeigt ein regelmässig verlaufendes Oeffnen und Schliessen ent-

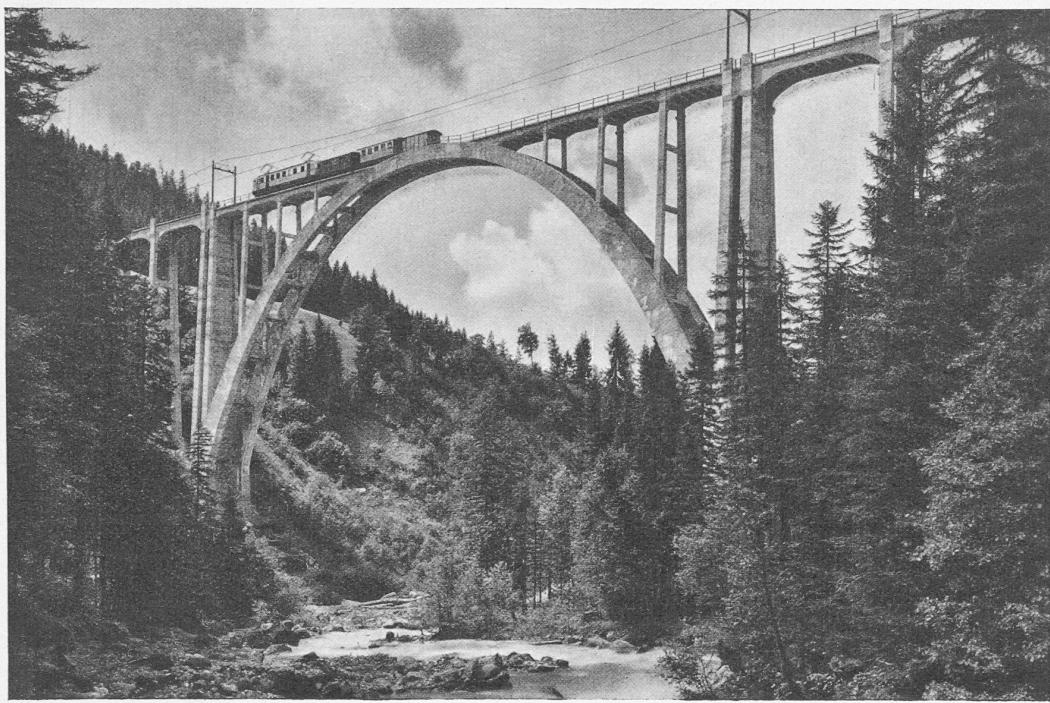


Abb. 2. Eisenbeton-Bogen von 100 m Spannweite des Langwieser Viadukts.

sprechend der jeweiligen Stellung des Belastungszuges; Hin- und Rückfahrt weisen Unterschiede auf, die eine Dreh-Nachgiebigkeit des Widerlagers Seite Arosa vermuten lassen.

4. Die im Scheitel, im Viertel und am Kämpfer Langwies gemessenen Spannungswerte, aus den gemessenen spezifischen Dehnungen mit einer elastischen Dehnungszahl von $\alpha_e = \frac{1}{E} = \frac{1}{500\,000}$ berechnet, stimmen dem Sinn und der Grössenordnung nach mit den zugeordneten rechnerischen Werten für den eingespannten Bogen allein gut überein. Sie lassen, ebenso wie der Vergleich der gemessenen und rechnerisch ermittelten lotrechten Scheitelsenkung, den Einfluss der nicht sehr starken entlastenden Wirkung des Ueberbaues auf den Bogen Langwies erkennen.

Die Ergebnisse der Festigkeits- und Elastizitätsversuche im Laboratorium, der Kontrolle auf der Baustelle und der Spannungs- und Deformationsmessungen am fertigen Bauwerk zeigen, innerhalb der in der Natur der Erzeugungsweise des Beton liegenden Schwankungen, eine praktische sehr befriedigende Uebereinstimmung.

5. Die Unterschiede in der Spannungsverteilung für die drei untersuchten Bogenquerschnitte, die sich bei der Bergfahrt (Langwies-Arosa) und Talfahrt (Arosa-Langwies) mit ausgesprochener Regelmässigkeit einstellen, lassen auf leichte Drehungen der Widerlager schliessen und eine grös-

ere Empfindlichkeit des Widerlagers Seite Arosa (Drehungen) vermuten.

6. Die Stosszuschläge für den mit einer maximalen Geschwindigkeit von 30 km/h fahrenden 120 t schweren Zug sind am grössten im Bogen Scheitel und kleiner im Bogenviertel; sie betragen im Scheitel 10 %, im Viertel 8 %.

7. Die 18 Jahre alten, am Bauwerk im Freien gelagerten Betonwürfel zeigten, trotz der sehr starken Wärmeschwankungen durch Sonnenbestrahlung, Nässe und Frost keine Einbusse an Festigkeit. Die Würfeldruckfestigkeit dieser in der Eidg. Materialprüfungsanstalt erprobten Würfel zeigte mit 738 kg/cm² gegenüber den im Alter von 11 1/2 Jahren erprobten, mit einer Würfeldruckfestigkeit

von 714 kg/cm², sogar eine geringe Zunahme. Der Schliff zeigt einen Beton von hervorragender Zusammensetzung und erweckt den Eindruck natürlicher Nagelfluh (Abb. 10 und 11). Die Dehnungszahl ihrer elastischen Verformungen wurde zu $\alpha_e = \frac{1}{E} = \frac{1}{512\,000}$ festgestellt (Abb. 12).

Der Elastizitätsmodul E zeigt gleichfalls eine Zunahme mit dem Alter, einem Endwert von $E \sim 550\,000$ kg/cm² zustrebend.

Die Beziehung zwischen der Prismendruckfestigkeit des Beton $pr\beta_d \sim 0,8 w\beta_d$ und dem Elastizitätsmodul $E = 550\,000 \frac{pr\beta_d}{pr\beta_d + 150}$ für Beanspruchungen von σ bis 0,3 $pr\beta_d$ hat sich als zutreffend erwiesen. Das Eisenbetontragwerk hat mit dem Alter sein elastisches Verhalten nicht eingebüßt.

8. Der Vergleich der anlässlich der ersten Belastungsprobe vom 14. Oktober 1914 festgestellten grössten Scheitelsenkung von 2,4 mm mit dem entsprechenden am 19. November 1929 gemessenen Grösstwert von 1,96 mm zeigt, dass diese Scheitelsenkungen fast genau umgekehrt proportional dem Verhältnis der entsprechenden Elastizitätsmoduli sind, nämlich

	Scheitelsenkung in mm	E in kg/cm ²
Erste Belastungsprobe, 1914	2,4	$\sim 400\,000$
Zweite Belastungsversuche, 1929	1,96	$\sim 500\,000$
Verhältniszahl	1,22	1 : 1,25

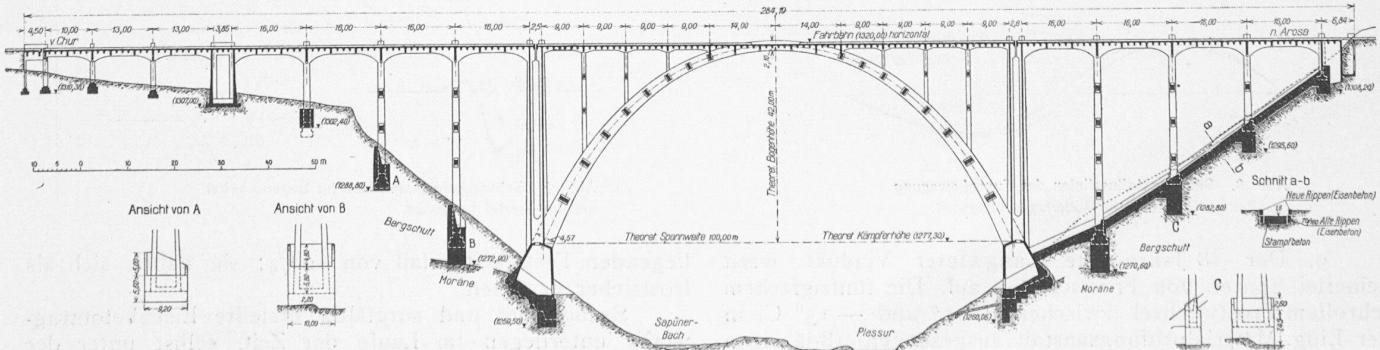


Abb. 3. Langwieser Viadukt der Chur-Arosa-Bahn. — Längsschnitt 1:1500 (Fundamente laut Projekt weiß gestrichelt). Erbaut 1912/14 von Ed. Züblin & Cie. A.-G., Zürich, nach eigenem Entwurf.

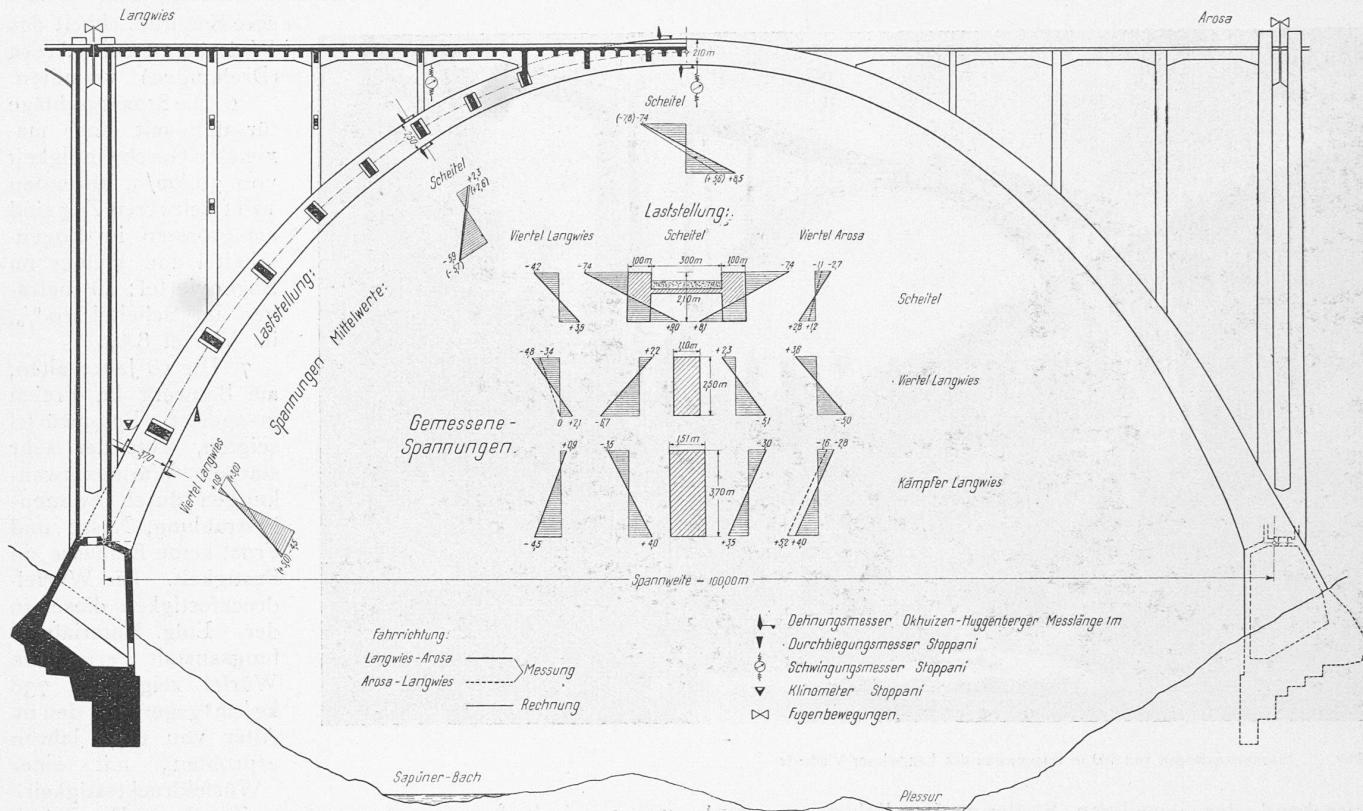


Abb. 5. Längsschnitt und Ansicht des Bogens, Masstab 1:600, mit Eintragung der Ergebnisse der Spannungsmessung.

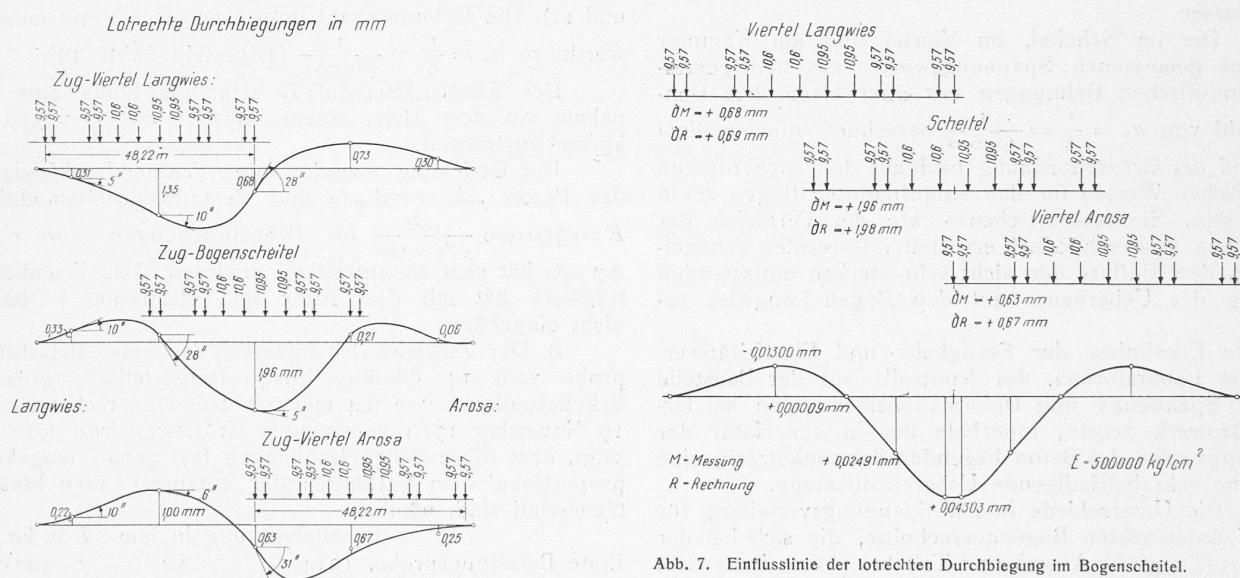


Abb. 6. Biegelinien der lotrechten Durchbiegungen.

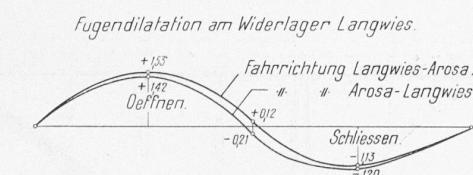


Abb. 8. Summeneinflusslinien der Fugenbewegung der Fahrbahn über dem Widerlager Langwies.

9. Der 18 Jahre alte Langwieser Viadukt weist keinerlei Spuren von Frostschäden auf. Die fünfzigfachem schroffem Frostwechsel (zwischen $+15^{\circ}$ und -15° C) in der Eidg. Materialprüfungsanstalt ausgesetzten 18-jährigen Betonwürfel zeigten einen noch innerhalb des natürlichen und zulässigen Streungsgebietes von $\pm 25\%$

liegenden Festigkeitsabfall von 12%; sie haben sich als frostsicher erwiesen.

Sachgemäß und sorgfältig erstellte Eisenbetontragwerke unterliegen im Laufe der Zeit, selbst unter der Einwirkung sehr ungünstiger Wärme- und Witterungseinflüsse (Jahres-Temperaturschwankungen zwischen $+25^{\circ}$

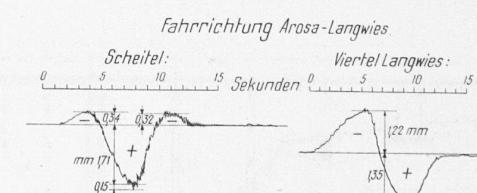


Abb. 9. Schwingungsdiagramme im Bogenscheitel und im Viertel Langwies.

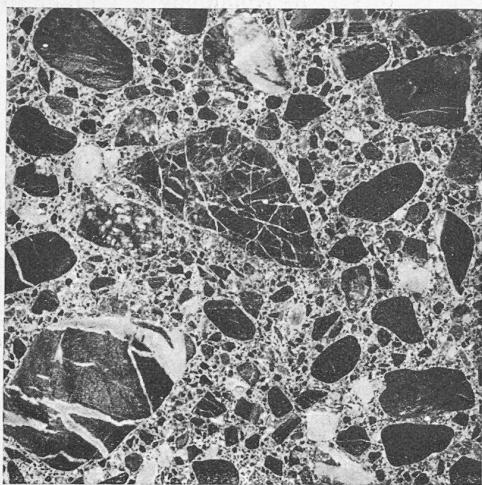
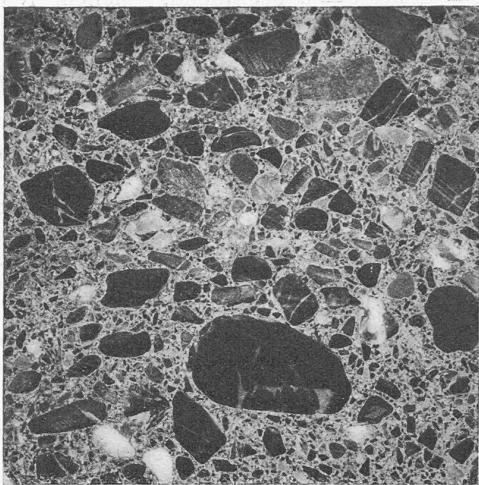
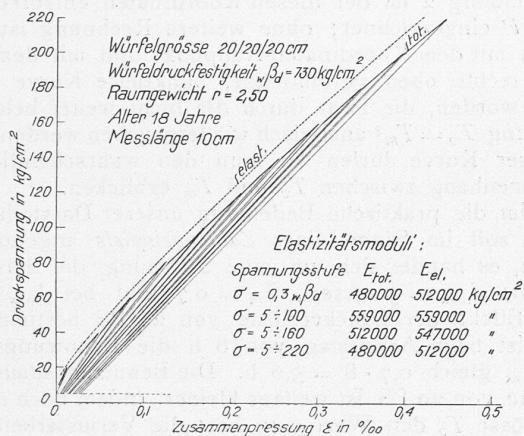
Abb. 10. Gewölbe-Beton — Alter 11½ Jahre — $\frac{1}{4}$ nat. Grösse.Abb. 11. Fahrbahn-Beton — Alter 18 Jahre — $\frac{1}{4}$ nat. Grösse.

Abb. 12. Elastizitätsmessung von 18 Jahre altem, im Freien gelagerten Beton.

und -20°C , Tages-Temperaturunterschiede von 15°C , direkte Sonnenbestrahlung und andauernd starker Frost) keinen schädlichen Folgen. Der Beton erweist sich als frostbeständig und witterfest; seine Festigkeit zunahme mit zunehmendem Alter vollzieht sich normal, einem Endwert zustrebend.

10. Die heute in der Schweiz im Gebrauch stehenden Messinstrumente und angewandten Prüfungsmethoden der Versuchspraxis an ausgeführten Bauwerken erwiesen sich als ausreichend empfindlich, um Einflüsse, selbst sehr geringer Störungen, wie Nachgiebigkeit der Lagerstellen, Verschiedenheit der Betonqualität usw., mit Sicherheit festzustellen. Sie dürfen daher als Grundlage einer sich auf Messungsergebnisse stützenden Theorie und Erfahrung dienen.

11. Für die Berechnung und Dimensionierung des Langwieser Viaduktes waren nachfolgende Bestimmungen des Eidg. Eisenbahndepartements bindend: Verkehrslasten für Schmalspurbahnen mit Lokomotivbetrieb entsprechend der Eidg. Brückenverordnung vom 7. Juni 1913; Einfluss der Temperatur und des Schwindens $+15^{\circ}$ und -35°C gegenüber der mittleren Ortstemperatur; zulässige Spannungen für alle Einflüsse: Beton auf Druck 45 kg/cm^2 , auf Zug 4 kg/cm^2 , Eisen auf Zug 1200 kg/cm^2 ; Mindestfestigkeit des Beton plastisch 180 kg/cm^2 , erdfeucht 250 kg/cm^2 .

Auf Grundlage unserer heutigen Erfahrungen auf dem Gebiete des Eisenbetonbaues in der Schweiz und auch gestützt auf die als zulässig vorgesehenen Beanspruchungen gemäss Entwurf 1931 für die neuen Schweiz. Eisenbeton-Vorschriften, dürfen innerhalb der Grenzen der zulässigen Beanspruchungen und Knickstabilität für alle Konstruktionsteile des Langwieser Viaduktes bis zu 80% höhere Verkehrslasten als die zurzeit schwersten (Lokomotiven von 40 t Gesamtgewicht bei $\sim 16 \text{ m}$ Länge, mit

Achtdräcken von 10 t , und Güterwagen von 22 t Gesamtgewicht bei $\sim 8 \text{ m}$ Länge, mit Achtdräcken von 11 t zugelassen werden.

*

Der Talübergang über die Plessur bei Langwies, eine der kühnsten Eisenbeton-Bogenbrücken, deren Verwirklichung unter Ueberwindung erheblicher behördlicher Bedenken Ing. G. Bener als damaliger Bauleiter der Chur-Arosabahn durchgesetzt hat, und für deren Ausführung sich die Bauunternehmung Ed. Züblin & Cie. A.-G., Zürich mit ihren damaligen, die Entwurfsherstellung und den Bau leitenden Ingenieuren Dr. Ing. H. Schürch, H. Müller (jetzt in Lyon), A. Zwygart und J. Fleury, sowie der Erbauer des Gerütes R. Coray, Verdienste erworben haben, ist zu einer Quelle wertvoller Erfahrungen geworden. Ihnen allen gilt unser Dank für den Mut, die Energie und Ausdauer, womit sie damals den weitestgespannten Eisenbetonbogen der Welt erbauten.

Der wahrscheinliche Druckverlust unkonstant strömender Flüssigkeiten im Betriebe.

Von Professor Dr. W. KUMMER, Ingenieur, Zürich.

Die Druckverluste strömender tropfbarer, gasförmiger oder dampfförmiger Flüssigkeiten in technischen Leitungsanlagen lassen sich zufolge der im Betrieb in der Regel rasch und oft eintretenden Belastungsänderungen nur umständlich oder bei Vorprojekten überhaupt nicht zuverlässig über eine Betriebsperiode weg berechnen. In solchen Fällen genügt jedoch die Kenntnis der wahrscheinlichen Druckverluste, mit deren Ermittlung wir uns hier beschäftigen. Dabei stützen wir uns auf ein Verfahren der Bestimmung der sogen. mittleren Dauer des Maximalwerts der Verluste, wie wir es, mit den entsprechend geänderten Verlustfunktionen, vor einigen Jahren für die Ermittlung der Stromwärme-Verluste in elektrischen Arbeitsübertragungen entwickelt haben.¹⁾ Während nämlich für die elektrische Strömung der Effekt des Stromwärmeverlustes sich mit dem Quadrat der Strömungsintensität ändert, ist für die mechanische Strömung, für die wir gemäss den Bedingungen der Praxis nur mit dem Turbulenzfall zu rechnen haben, der Effekt des Strömungsverlustes dem Kubus der Strömungsintensität proportional.

Wir bezeichnen mit J die Strömungsintensität der Flüssigkeit, die im üblichen technischen Massensystem in m^3/sec gemessen wird, und mit T die betrachtete Betriebsperiode, innerhalb der wir sehr starke und häufige Schwankungen voraussetzen. In genügend grossen Zeiteinheiten gemessen, ist in der Folge stets $T = 1$, beispielsweise = 1 Tag gesetzt. Innerhalb T messen wir die variable Zeit t mit einer passenden kleinen Einheit. Die Aufzeichnung von Intensitäten J über t liefert eine sogen. Belastungskurve:

$$J = f(t)$$

für die Leitungsanlage. Mit Hülfe des in der Betriebsperiode T auftretenden Maximums J_{\max} benutzen wir in der Folge anstelle der Einzelwerte J deren Relativwerte:

$$i = \frac{J}{J_{\max}}$$

die wir weiter nun auch nicht mehr in ihrer zeitlich richtigen Aufeinanderfolge über t darstellen, sondern nach

¹⁾ Vergl. Seite 19 bis 21 der Arbeit „Die wissenschaftlichen Grundlagen der Preisbildung für die elektrische Arbeit“. Sammlung Vieweg, Heft 100. Braunschweig 1929. Besprochen Bd. 94, S. 85 (17. Aug. 1929).