Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 96 (1978)

Heft: 14

Artikel: Langzeitmessungen an Spannbetonbrücken: long-term measurements on prestressed concrete bridges

Autor: Birkenmaier, Max / Nil, Hansuli / Siegwart, Hans Rudolf

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-73672

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: 09.07.2025

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

Langzeitmessungen an Spannbetonbrücken

Von **Max Birkenmaier, Hansuli Nil** und **Hans Rudolf Siegwart**, Zürich

Die in einer Spannbetonkonstruktion mittels Spanngliedern (Spannkabeln) eingetragenen Vorspannkräfte bauen sich im Laufe der Zeit zu einem Teil wieder ab. Ursache dieser Spannkraftverluste sind die durch Kriechen und Schwinden bewirkten Verformungen des Betons *und* die durch das Kriechen der hochbeanspruchten Stahldrähte verursachte Relaxation der Stahldrähte. Bei diesem Abbau der Spannkräfte handelt es sich um *Langzeitvorgänge,* die erst nach Jahren ganz zum Abschluss kommen.

Für die Bemessung einer Spannbetonkonstruktion ist es wichtig, die zu erwartenden Spannkraftverluste zutreffend vorausbestimmen zu können. Man verfügt heute über Unterlagen, die es erlauben, die langfristig zu erwartenden Schwind- und Kriechverformungen des Betons zuverlässig vorauszusagen. Die Verluste aus Stahlrelaxation werden meist durch Extrapolation von Ergebnissen aus Versuchen begrenzter Dauer (1000 bis 5000 Std.) abgeschätzt.

Die Frage, wie weit die aufgrund der einzelnen Einflüsse – Schwinden, Kriechen und Stahlrelaxation – rechnerisch ermittelten Spannkraftverluste mit den tatsächlich im Bauwerk vorhandenen Kraftverlusten übereinstimmen, kann nur aufgrund von Langzeitmessungen beantwortet werden. Im folgenden soll über *langdauernde Kraftmessungen an Spanngliedern* berichtet werden.

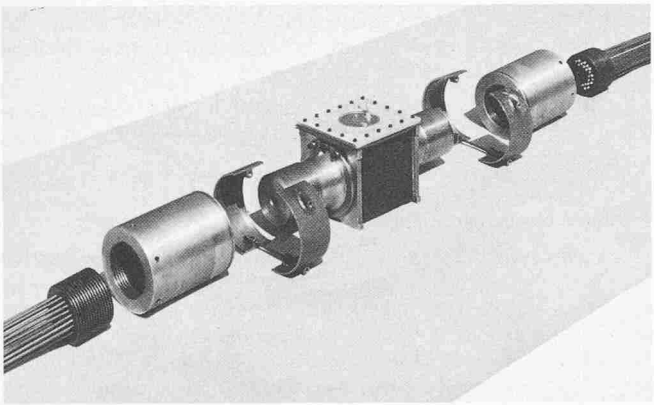


Bild 1. Dynamometer Typ Proceq-Wirth ED 250 mit Spannglied BBRV 55 ϕ 7 mm
Dynamometer Type Proceq-Wirth ED 250 with 55 ϕ 7 mm BBRV tendon

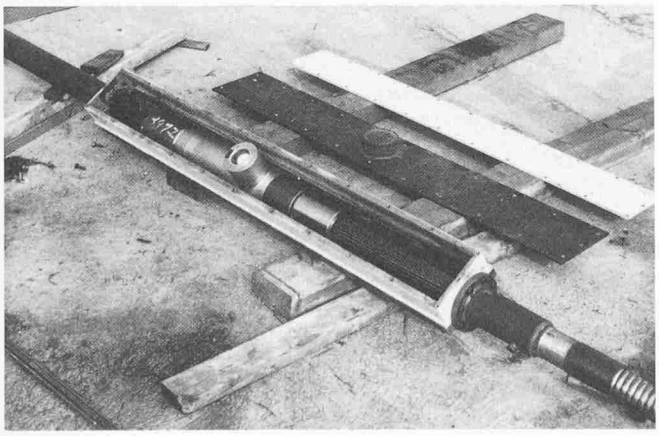


Bild 2. Spannglied mit Dynamometer Typ Proceq-Schmidt ED 250 bereit zum Verlegen
Tendon with Dynamometer Type Proceq-Schmidt ED 250 ready for placing in position

Zugdynamometer

Für die über sehr lange Zeiträume zu gewährleistende, genaue Messung der hohen im Spannglied vorhandenen Zugkräfte wurden Spezialdynamometer entwickelt. Auf Bild 1 ist ein solches Dynamometer neuerer Bauart für eine Messlast von 250 Mp (2450 kN) dargestellt. An der Einbaustelle des Dynamometers ist das BBRV-Spannglied mit Endankern versehen. Durch Kupplungshülsen werden die Spanngliedenden kraftschlüssig mit dem Dynamometer verbunden. Auf Bild 2 ist gezeigt, wie ein angebautes Dynamometer in einem einseitig offenen Abschalkasten aus Blech liegt und wie der letzte mit dem Hüllrohr des Spanngliedes verbunden ist. Die Länge des Abschalkastens ist so gewählt, dass die beim Vorspannen eintretende Bewegung des Dynamometers nicht behindert wird. Das mit dem Dynamometer versehene Spannglied muss so angeordnet sein (z. B. Innenseite eines Trägersteges), dass die Messuhr stets zugänglich bleibt. Der Abschalkasten wird, wie Bild 3 zeigt, nach dem Vorspannen mit einem Abschlussdeckel versehen. Im Anschluss daran wird das Spannglied in üblicher Art durchgehend mit Zementmörtel verpresst. Damit Kraftänderungen störungsfrei zum Dynamometer gelangen können, ist das Drahtbündel auf einer Strecke von rund 4,5 m mit Bitumen getränkt und mit einem Band umhüllt, wodurch auf dieser Strecke ein Verbund verhindert wird.

Die Kraft am Dynamometer wird durch Messung der Verformung an einem zylindrischen Messkörper aus hochwertigem Vergütungsstahl ermittelt. Die Beanspruchungen im Messkörper sind klein gehalten, damit keine störenden Kriechverformungen auftreten können. Die durch die Zugkräfte bewirkten Verformungen werden durch ein mechanisches System auf die Messuhr übertragen. Diese Einrichtung ist unempfindlich gegen äussere Einflüsse, erlaubt das Ablesen von äusserst kleinen Dehnungsänderungen und garantiert zudem die Erhaltung der Nullpunktmessung. Mit den an der Messuhr abgelesenen Verformungen des Messkörpers kann die im Spannglied vorhandene Kraft zuverlässig angegeben werden, wobei eine Messgenauigkeit von $\pm 1\%$ dauernd gewährleistet ist.

Spannbetonbrücken

Auf Bild 4, Bild 5 und Bild 6 sind in Längsansicht und im Querschnitt die Brücken dargestellt, bei denen jeweils in einem Spannglied Zugdynamometer eingebaut wurden.

Weinlandbrücke in Andelfingen (Kanton Zürich)

Bauherr: Direktion der öffentlichen Bauten des Kantons Zürich.

Projektverfasser: Ingenieurbureau Hans Eichenberger, Zürich.

Durchlaufträger über vier Felder mit den Spannweiten 66,0 – 88,0 – 76,0 – 57,0 m.

Herstellung in drei Etappen mit zwei Kupplungsstellen.

Einbau von einem Dynamometer in einem Spannglied BBRV 42 ⌀ 6 mm, $V_0 = 125$ Mp (siehe Bild 5).

Brücke vollendet im Mai 1958.

Monbijou-Brücke, Bern

Bauherr: Baudirektion I der Stadt Bern.

Projektverfasser: Ingenieurbureau Hartenbach und Wenger, Bern.

Durchlaufender Hohlkastenträger über vier Felder mit den Spannweiten 82 – 86 – 86 – 82 m.

Herstellung in zwei Längshälften.

Einbau von vier Dynamometern in einem auf die ganze Brückenlänge durchgehenden Spannglied BBRV 55 ⌀ 7 mm, $V_0 = 235$ Mp (siehe Bild 6a).

Brücke vollendet im September 1962.

Brücke über die Versoix bei Genf

Bauherr: Département des Travaux Publics Genf.

Projektverfasser: Ingenieurbureau P. Tremblet, Genf.

Durchlaufträger über sechs Felder mit den Spannweiten 37,0 – 4 × 57,5 – 37,0 m.

Herstellung in einer Bauetappe.

Einbau von zwei Dynamometern in einem Spannglied BBRV 55 ⌀ 7 mm, $V_0 = 239$ Mp (siehe Bild 5).

Brücke vollendet im August 1962.

Brücke über das Aabachtal bei Lenzburg (Kanton Aargau)

Bauherr: Kantonales Tiefbauamt Aarau.

Projektverfasser: Ingenieurbureau Rothpletz, Lienhard & Cie AG, Aarau/Bern.

Durchlaufender Hohlkastenträger über neun Felder mit Spannweiten von 33,0 – 36,0 – 4 × 48,0 – 33,0 – 29,0 m.

Herstellung in sechs Bauabschnitten. Jeder Hohlkasten wurde vorerst für sich in je drei Etappen ausgeführt, so dass zwei Kupplungsstellen notwendig waren.

Einbau von drei Dynamometern in einem Spannglied BBRV 55 ⌀ 7 mm, $V_0 = 241$ Mp (siehe Bild 4).

Brücke vollendet im Herbst 1965.

Sihlhochstrasse der N3 in Zürich. Brücke Brunau Nord

Bauherr: Direktion der öffentlichen Bauten des Kantons Zürich.

Projektverfasser: Ingenieurbureau Schalcher & Partner und H. Eichenberger AG, Zürich.

Durchlaufender Hohlkastenträger über acht Felder mit den Spannweiten 32,3 – 43,0 – 50,0 – 50,0 – 52,0 – 54,5 – 42,4 – 42,4 m.

Herstellung in Bauetappen mit vier Kupplungsstellen.

Einbau von zwei Dynamometern in einem Spannglied BBRV 55 ⌀ 7 mm, $V_0 = 250$ Mp (siehe Bild 4).
Brücke vollendet im Mai 1971.

Messergebnisse

In Bild 6 sind die Ergebnisse der langjährigen Messungen an der *Monbijou-Brücke* in *Bern* dargestellt. Gemäss Bild 6a sind an einem auf die ganze Brückenlänge durchgehenden Spannglied vier Zugdynamometer eingebaut. In Bild 6b sind die im Zeitpunkt des Vorspannens festgestellten Zugkräfte bzw. Stahlspannungen an der Spannstelle und an den vier Dynamometern eingetragen. Die Verbindung dieser Messpunkte ergibt den durch Reibungsbehinderung bedingten Verlauf der eingetragenen Vorspannkraft. Nach der Injektion der Spannglieder wurden die vier Dynamometer anfänglich in kürzeren Zeitabständen, später alle zwei Jahre abgelesen. Um einen unerwünschten Temperatureinfluss auszuschalten, wurden die späteren Ablesungen immer bei der gleichen Betontemperatur im Spätherbst vorgenommen. Im Bild 6c sind für jeden Dynamometer die im Zeitraum von 15 Jahren festgestellten Messwerte für die Stahlspannungen eingetragen.

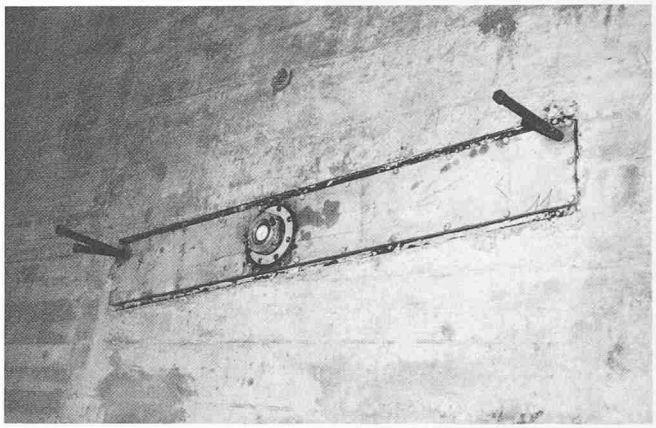


Bild 3. Dynamometer-Messstelle
Dynamometer measurement location

Die durch diese Punkte gelegten Kurven zeigen den für abklingende Langzeitvorgänge typischen Verlauf.

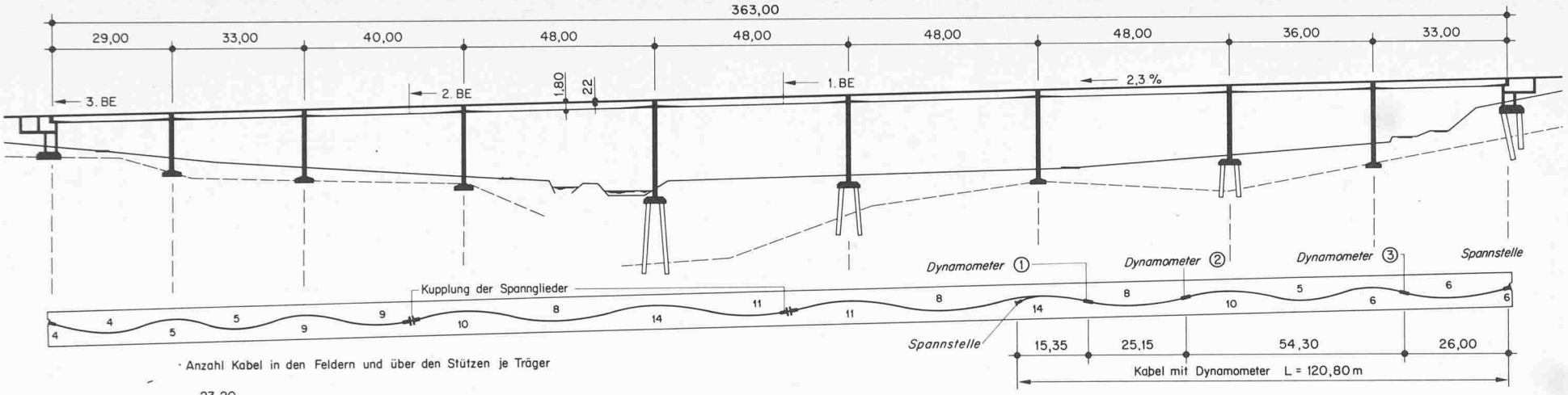
In Bild 6b sind die Stahlspannungen (Spannkräfte) unmittelbar nach dem Vorspannen am 20. 11. 1961 sowie 15 Jahre später, am 17. 11. 1976, aufgetragen. In diesem Zeitraum sind je nach der Grösse der anfänglichen Stahlspannung Spannungsverluste zwischen 13,8 bis 9,5 % eingetreten.

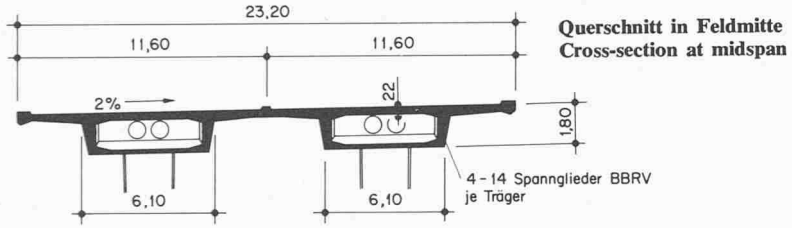
Im Bild 7 sind die Messergebnisse an sämtlichen fünf Spannbetonbrücken zusammenfassend dargestellt. Die für einen Zeitpunkt angegebenen Stahlspannungen sind aus den durch die Messpunkte gelegten Kurven analog Bild 6c herausgelesen worden. Ein Vergleich der Zahlenwerte zeigt, dass für gleich grosse Anfangsspannungen ($t = 0$) sehr ähnliche Spannungsverluste eingetreten sind.

Ergänzungsversuche

Um praktische Hinweise über langzeitliche Relaxationsverluste in einem aus mehreren Drähten bestehenden Spannglied zu erhalten, wurde die in Bild 8 und 9 dargestellte Versuchseinrichtung verwendet. In einem Stahlrahmen von 2,57 m Länge ist ein BBRV-Spannglied 8 ⌀ 6 mm eingebaut und mittels Zugspindel auf ein Dynamometer (Proceq-Schmidt) abgestützt. Die Abmessung des Stahlrahmens ist so gewählt, dass unter der eingetragenen Vorspannkraft nur geringe Beanspruchungen auftreten. Die durch BBRV-Stauchköpfe an den Ankerköpfen befestigten Stahldrähte sind unverschieblich mit dem Stahlrahmen verbunden. Somit sind hier die Voraussetzungen für einen Relaxationsversuch – Messung des Abbaues der Spannungen bei unverschieblich festgehaltener Länge des gespannten Stahldrahtes – sehr gut erfüllt.

Am 22. Januar 1959 wurde ein Spannglied 8 ⌀ 6 mm mit einer Kraft von 24,33 Mp auf 0,69 β_z = 110,1 kp/mm² vorgespannt und von diesem Zeitpunkt an die Kraft am Dynamometer periodisch abgelesen. In Bild 10 sind die wichtigsten Angaben über Versuchsanordnung und Messergebnisse eingetragen. Am 18. Mai 1977, d. h. nach einer Versuchsdauer von 18 Jahren, ist am Dynamometer eine Kraft von 22,785 Mp, d. h. eine Stahlspannung von 103,1 kp/mm², abgelesen worden. Somit war ein Spannungsverlust von 110,1–103,1 = 7,0 kp/mm² oder 6,4 % eingetreten. Zur Kontrolle wurde am linksseitigen Spanngliedende eine Zugspindel im Ankerkopf eingeschraubt und unter Zwischenschaltung eines genau geeichten Dynamometers eine Spannpresse eingesetzt. Dann wurde die Kraft in die Zugspindel so lange gesteigert, bis auf der Gegenseite am Zeiger des alten Dynamometers ein kleiner Ausschlag festzustellen war. Die Ablesung am geeichten neuen Dynamometer ergab eine Stahlspannung von 105,4 kp/mm².



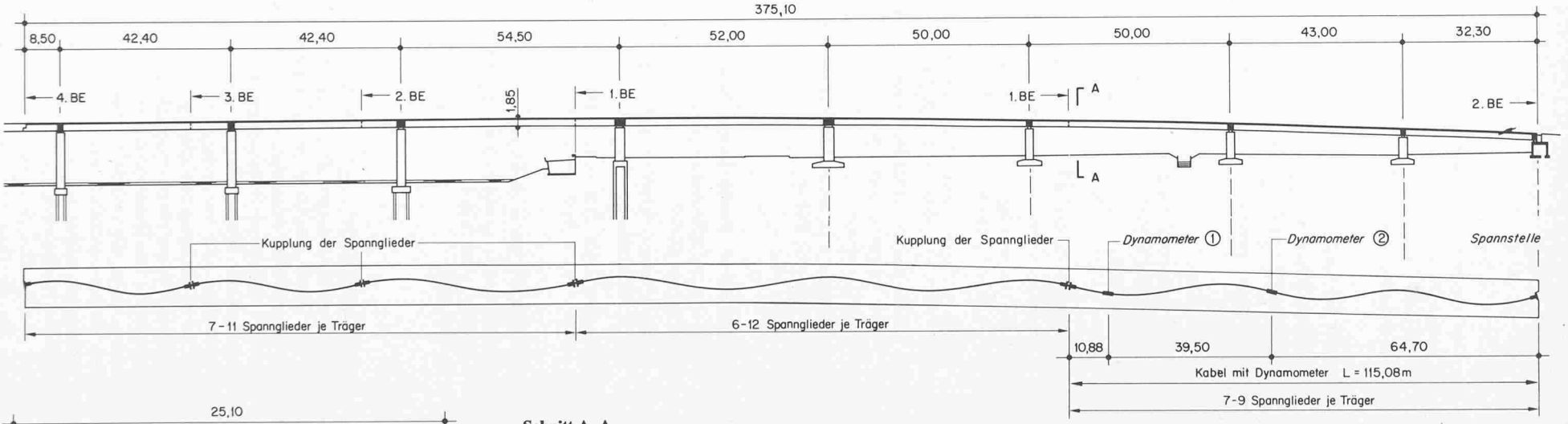


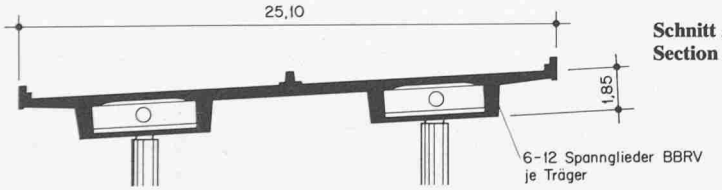
Querschnitt in Feldmitte
Cross-section at midspan

Bild 4 (oben). **Brücke über das Aabachtobel bei Lenzburg**
Bridge across the Aabach Valley near Lenzburg

Baujahre 1962–1965
Construction 1962–1965

Spannglieder BBRV 55Φ7 mm V_o = 240 Mp
55Φ7 mm BBRV tendons V_o = 240 Mp



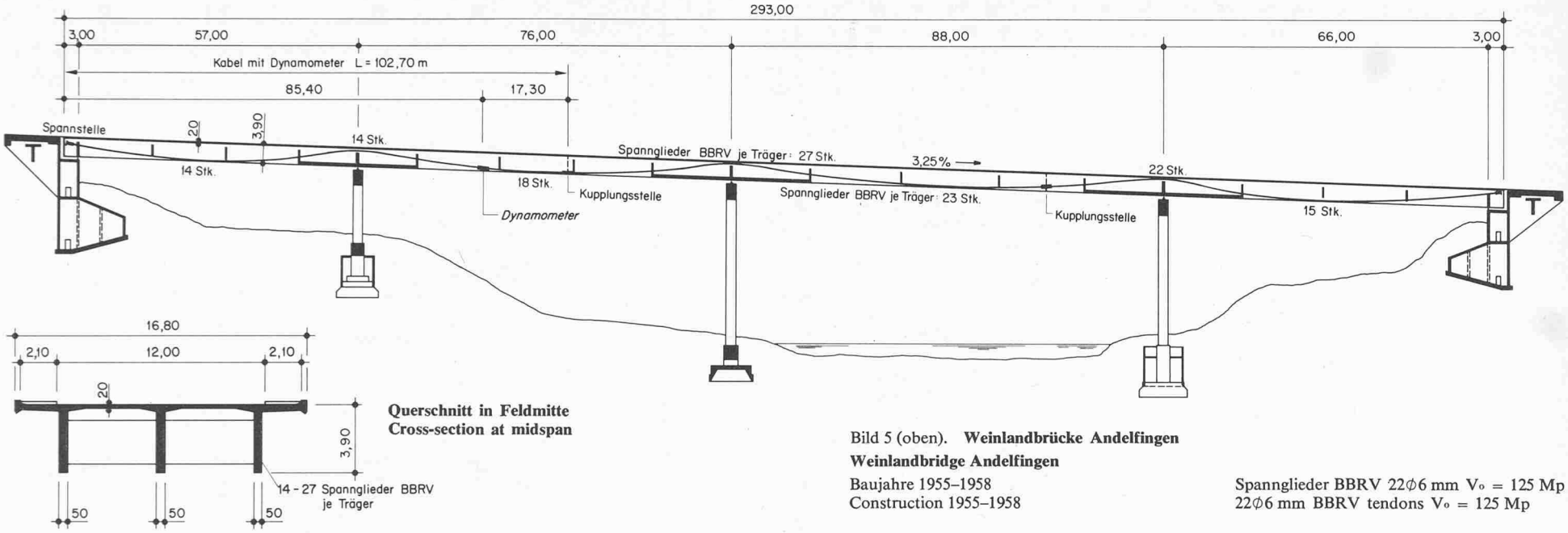


Schnitt A–A
Section A–A

Bild 4b (unten). **Sihlhochstrasse der N 3 in Zürich, Brücke Brunau Nord**
Sihlhochstrasse on the N 3 motorway in Zurich, Brunau North Bridge

Baujahre 1968–1971
Construction 1968–1971
Spannglieder BBRV 55Φ7 mm V_o = 240 Mp

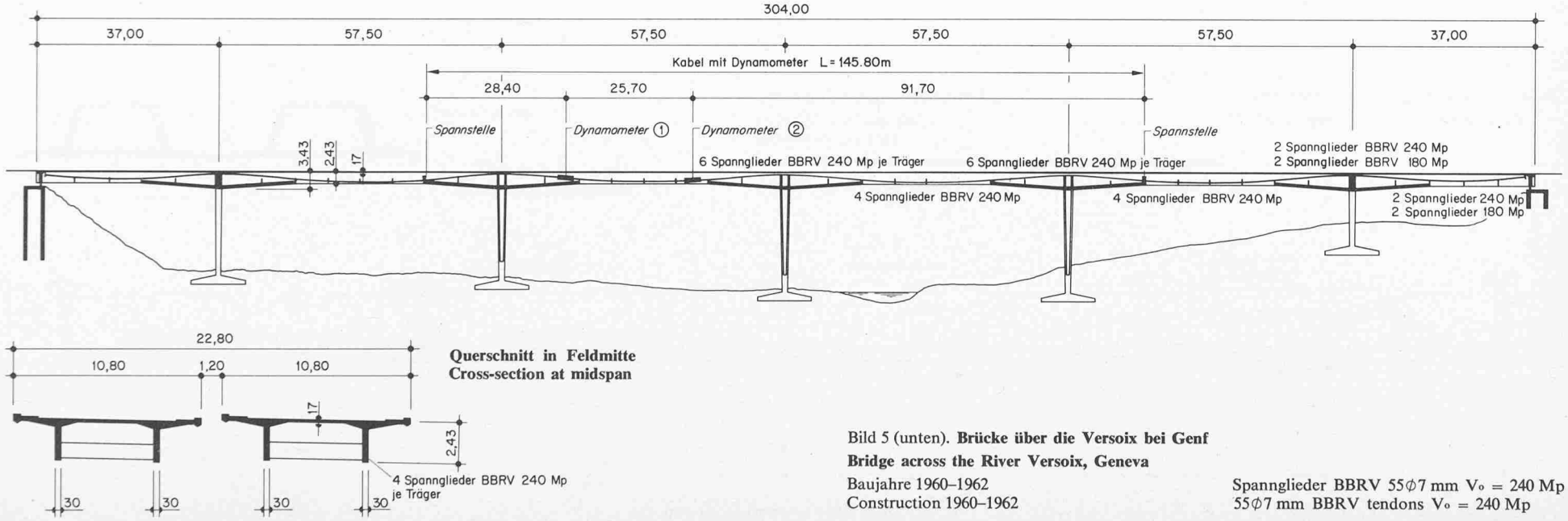
55Φ7 mm BBRV tendons V_o = 240 Mp
60Φ7 mm V_o = 260 Mp
60Φ7 mm BBRV tendons V_o = 260 Mp



Querschnitt in Feldmitte
Cross-section at midspan

Bild 5 (oben). **Weinlandbrücke Andelfingen**
Weinlandbridge Andelfingen
Baujahre 1955–1958
Construction 1955–1958

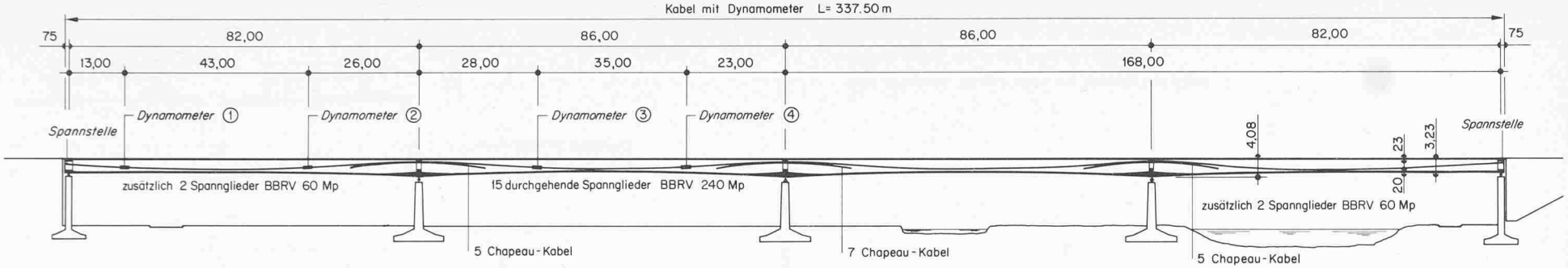
Spannglieder BBRV 22⌀6 mm V_o = 125 Mp
22⌀6 mm BBRV tendons V_o = 125 Mp

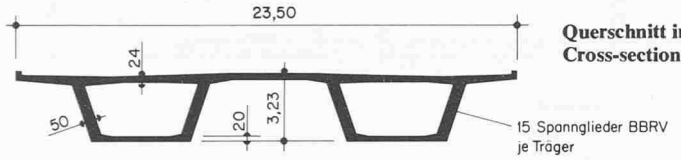


Querschnitt in Feldmitte
Cross-section at midspan

Bild 5 (unten). **Brücke über die Versoix bei Genf**
Bridge across the River Versoix, Geneva
Baujahre 1960–1962
Construction 1960–1962

Spannglieder BBRV 55⌀7 mm V_o = 240 Mp
55⌀7 mm BBRV tendons V_o = 240 Mp





Querschnitt in Feldmitte
Cross-section at midspan

Bild 6a. **Dynamometermessungen an der Monbijou-Brücke in Bern**
Dynamometer measurements on the Monbijou Bridge in Berne
Baujahre 1960–1962
Construction 1960–1962
Spannglieder BBRV 55⌀7 mm V_o = 240 Mp

55⌀7 mm BBRV tendons V_o = 240 Mp
Bild 6b (unten, links) – Bild 6c (rechts, unten)

Bild 6b

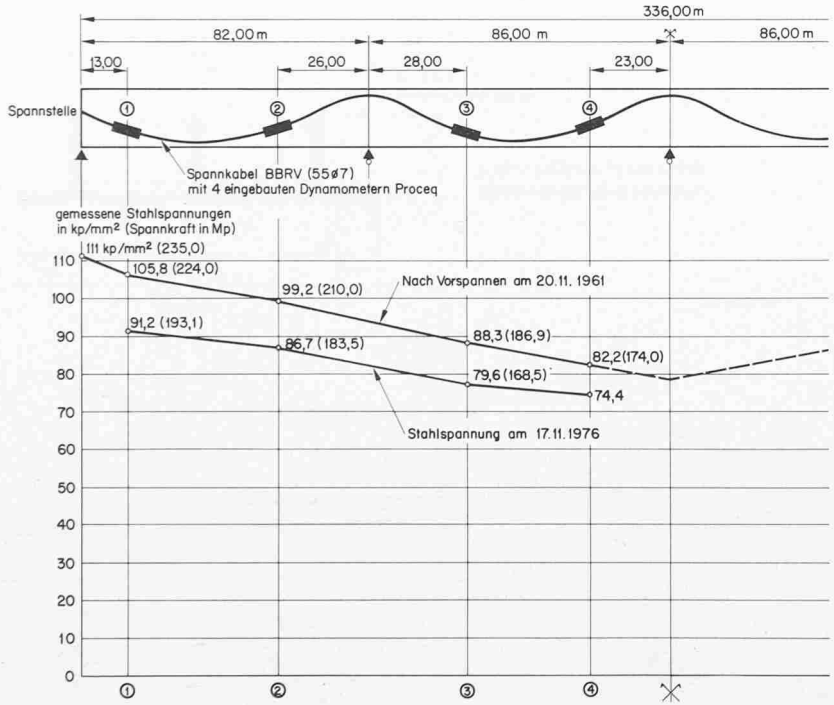
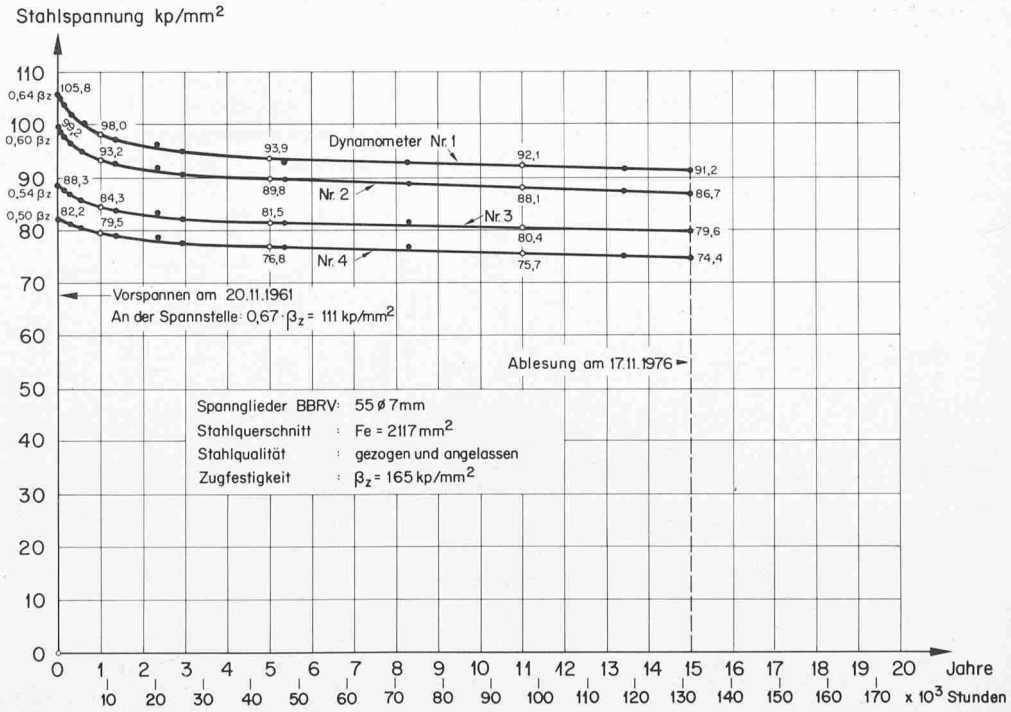


Bild 6c



		im Zeitpunkt t gemessene Stahlspannungen $\sigma_{St} = P_t / F_{St}$ 1)					
		t = 0	t = 1 Jahr	t = 5 Jahre	t = 10 Jahre	t = 15 Jahre	t = 20 Jahre
		kp/mm²	kp/mm²	kp/mm²	kp/mm²	kp/mm²	kp/mm²
Weinlandbrücke Andelfingen							
Spannglied 42 ø 6 mm							
Stahlquerschnitt F_{St} 1188 mm²	σ_{St} an der Spannstelle	105,0					
Spannstahl $\sigma_{0,2}/\beta_z$ 140/160 kp/mm²	σ_{St} am Dynamometer	70,4	69,5	67,0	66,0	65,8	65,7
Monbijou-Brücke, Bern	σ_{St} an der Spannstelle	111,0					
	σ_{St} am Dynamometer 1	105,8	98,0	93,9	92,1	91,2	
Spannglied 55 ø 7 mm	σ_{St} am Dynamometer 2	99,2	93,2	89,9	88,1	86,7	
Stahlquerschnitt F_{St} 2117 mm²	σ_{St} am Dynamometer 3	88,3	84,3	81,5	80,4	79,6	
Spannstahl $\sigma_{0,2}/\beta_z$ 145/165 kp/mm²	σ_{St} am Dynamometer 4	82,2	79,5	76,8	75,7	74,4	
Brücke über die Versoix bei Genf							
Spannglied 55 ø 7 mm							
Stahlquerschnitt F_{St} 2117 mm²	σ_{St} an der Spannstelle	113,0					
Spannstahl $\sigma_{0,2}/\beta_z$ 145/165 kp/mm²	σ_{St} am Dynamometer	104,4	95,3	92,5	91,0	90,0	
Brücke über das Aabachtal bei Lenzburg	σ_{St} an der Spannstelle	113,8					
Spannglied 55 ø 7 mm	σ_{St} am Dynamometer 1	104,9	93,7	90,0			
Stahlquerschnitt F_{St} 2117 mm²	σ_{St} am Dynamometer 2	97,3	89,2	87,4	86,9		
Spannstahl $\sigma_{0,2}/\beta_z$ 145/165 kp/mm²	σ_{St} am Dynamometer 3	107,1	96,1	94,3	93,5		
Sihlhochstrasse der N3 in Zürich Brücke Brunau Nord							
Spannglied 55 ø 7 mm	σ_{St} an der Spannstelle	118,0					
Stahlquerschnitt F_{St} 2117 mm²	σ_{St} am Dynamometer 1	85,9	82,0	80,0			
Spannstahl $\sigma_{0,2}/\beta_z$ 150/170 kp/mm²	σ_{St} am Dynamometer 2	97,3	92,0	89,1			

1) Zeitpunkt t = 0 dh. unmittelbar nach dem Vorspannen des Spanngliedes

Bild 7. Messergebnisse
Summary of measurements

Diese Kontrolle zeigte somit, dass das seit 18 Jahren eingebaute Dynamometer noch gut funktionierte und dass eine Messgenauigkeit von 1–2% noch vorhanden war.

Bild 10 zeigt deutlich, dass bei den hier verwendeten, nicht angelassenen Spannstählen, die Spannung anfänglich rasch abfällt, aber schon nach 2–3 Jahren einen praktisch konstant bleibenden Wert erreicht. Bei den heute üblichen angelassenen oder stabilisierten Spannbetondrähten sind die anfänglichen Relaxationsverluste bedeutend geringer, dafür wird ein konstantes Spannungsniveau erst nach längerer Zeit erreicht.

Berechnete und gemessene Spannungsverluste

Von besonderem Interesse ist der Vergleich zwischen den rechnerisch ermittelten und den gemessenen Spannkraftverlusten. Ein solcher Vergleich soll nachfolgend in den vier Dynamometer-Querschnitten der Monbijou-Brücke (Bild 6) durchgeführt werden. Die Berechnung der Spannungsverluste $\Delta\sigma_{ST,S+K+R}$ infolge Schwinden, Kriechen und Relaxation erfolgt mit der bekannten Näherungsformel:

$$\Delta\sigma_{ST,\,S+K+R} = \frac{\varepsilon_{bs}(t, t_0)\, E_{ST} + \Delta\sigma_{ST,R} + n \cdot \varphi(t, t_0)\,[\sigma_{bg,0} + \sigma_{bv,0}]}{1 - n \cdot \dfrac{\sigma_{bV,0}}{\sigma_{ST,0}}\left[1 + 0{,}5 \cdot \varphi(t, t_0)\right]}$$

Dabei sind:

E_b bzw. E_{ST} = Elastizitätsmodul des Betons bzw. des Stahls

$n = \dfrac{E_{ST}}{E_b}$

$\varphi(t, t_0)$ = Kriechzahl für Zeitintervall von t_0 bis t

$\varepsilon_{bs}(t, t_0)$ = Schwindmass für Zeitintervall von t_0 bis t

$\sigma_{bg,0}$ bzw. $\sigma_{bV,0}$ = Betonspannungen in der Höhe des Spannstahls zur Zeit t_0 infolge Dauerlasten g bzw. infolge Vorspannung V_0 allein

$\sigma_{ST,0}$ = Spannung im Spannstahl zur Zeit t_0

$\Delta\sigma_{ST,R}$ = Stahlrelaxation

Bei der Herleitung dieser Formel wird die Kriechverformung mit dem Mittelwert aus Anfangs- und Endwert der Betonspannung bestimmt. Weiter ist vorausgesetzt, dass die Spannstähle F_{ST} in einem Strang im Querschnitt zusammengefasst sind. Zugspannungen sind mit positiven Vorzeichen einzusetzen.

Mit den detaillierten Angaben des «Code Modèle pour les structures en béton» des *Comité Euro-International du Béton* (CEB), Ausgabe Dez. 76, lassen sich die folgenden Zahlenwerte für $\varphi(t, t_0)$ und $\varepsilon_{bs}(t, t_0)$ ermitteln.

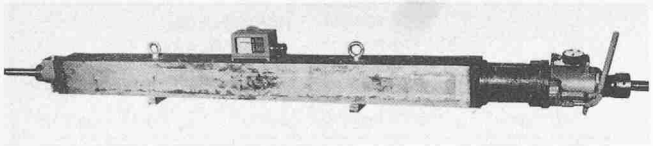


Bild 8. Versuchsanordnung
Test set-up

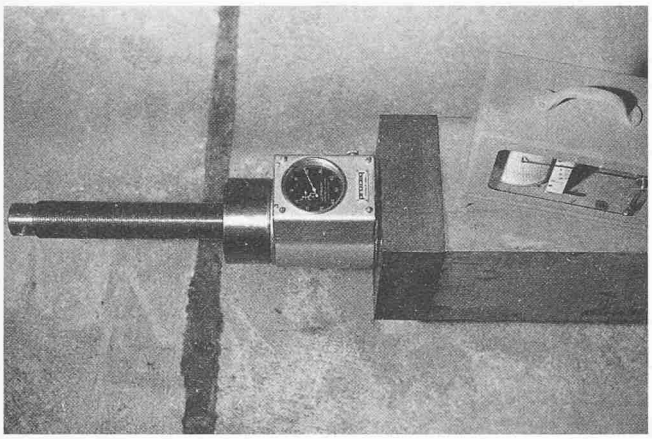


Bild 9. Versuchsanordnung
Test set-up

Betonqualität: Hochwertiger Beton mit 350 kp/m³ NPZ
Zylinderfestigkeit $\beta_{c,28} = 350$ kp/cm²

Relative Luftfeuchte: $F = 70\%$

Mittlere fiktive Betonabmessung: $h_0 \simeq 65$ cm

Betrachtetes Zeitintervall:

$t_0 =$ 60 Tage (Aufbringen der definitiven Vorspannung)

$t =$ 5500 Tage ($\sim$ 15 Jahre)

$\varphi(t, t_0) = 1{,}7$; $\varepsilon_{bs}(t, t_0) = 0{,}15 \cdot 10^{-3}$;

$E_b = 350000$ kp/cm²; $E_{ST} = 2050000$ kp/cm²; $n = 5{,}86$

Nach dem «CEB-Code Modèle» sind im Zeitpunkt $t =$ 5500 Tage rund 94% der Endkriechverformung und rund 97% der Endschwindverformung erreicht.

Es wird angenommen, dass für gezogenen, angelassenen Spannstahl $\sigma_{0,2}/\beta_z = 145/165$ kp/mm² bei einer Stahlspannung $\sigma_{ST} = 0{,}65\ \beta_z$ (107,3 kp/mm²) eine Relaxation von 6,5% (—7,0 kp/mm²) eintritt und dass für $\sigma_{ST} = 0{,}4\ \beta_z$ (66,0 kp/mm²) keine Relaxation zu erwarten ist. Die Relaxation für dazwischenliegende Stahlspannungen σ_{ST} ist durch lineare Interpolation zu ermitteln.

Der in der Formel einzusetzende Relaxationswert $\Delta\sigma_{ST,R}$ ist für eine reduzierte Anfangs-Stahlspannung $\sigma_{ST} = (\sigma_{ST,0} - 0{,}5\ \Delta\sigma_{ST,S+K+R})$ zu bestimmen. Da $\Delta\sigma_{ST,S+K+R}$ zum voraus nicht bekannt ist, muss man einen Zahlenwert schätzen und nach Berechnung mit Formel diesen eventuell korrigieren. Man erhält jedoch genügend genaue Werte, wenn man $\Delta\sigma_{ST,R}$ mit einer reduzierten Stahlspannung $\sigma_{ST} = 0{,}92\ \sigma_{ST,0}$ bestimmt.

In der Tabelle in Bild 11 sind für die vier Querschnitte die berechneten Spannungsverluste eingetragen. Die für die Rechnung erforderlichen Betonspannungen $\sigma_{bV,0}$ und $\sigma_{bg,0}$ sind dazu aus der statischen Berechnung der Projektverfasser entnommen worden. In der Tabelle sind auch die nach $t = 15$ Jahren gemessenen Stahlspannungen eingetragen.

Ein Vergleich von Kolonne 7 mit Kolonne 6 in Bild 11 zeigt, dass die gemessenen Stahlspannungen $\sigma_{ST,t}$ 2,2 bis 5,4% grösser sind als die berechneten. Trotz den verwendeten eher kleinen Zahlenwerten für $\varphi(t, t_0)$, $\varepsilon_{bs}(t, t_0)$ und $\Delta\sigma_{ST,R}$ liefert die Berechnungsformel somit genügend genaue und auf der sichern Seite liegende Werte für die Spannungsverluste. Der Vergleich lässt den Schluss zu, dass in den Stahldrähten (Qualität gezogen und angelassen) nur geringe Relaxationsverluste eingetreten sind.

Führt man Vergleiche zwischen berechneten und gemessenen Stahlspannungen auch bei den übrigen mit Dynamometern versehenen Brücken durch, so erhält man analoge Resultate.

Schlussbemerkungen

Die langzeitlichen Messungen von Kräften in Spanngliedern von fünf grösseren Brückenbauten haben gezeigt, dass die Spannkraftverluste infolge Kriechen, Schwinden und Relaxation durchwegs in der vorauszusehenden Grössenordnung aufgetreten sind. Die Spannbetonbauweise hat sich bei diesen Bauwerken somit auch in dieser Hinsicht langfristig bestens bewährt.

Querschnitt	$\sigma_{ST,0}$ 1) kp/mm²	$\Delta\sigma_{ST,R}$ 2) kp/mm²	$\sigma_{bV,0}$ 3) kp/cm²	$(\sigma_{bV,0} + \sigma_{bg,0})$ 4) kp/cm²	$\Delta\sigma_{ST,S+K+R}$ 5) kp/mm²	$\sigma_{ST,t}$ 6) kp/mm²	$\sigma_{ST,t}$ 7) kp/mm²
Dyn. Nr. 1	105,8	- 6,2	- 130,4	- 96,5	- 16,6	89,2	91,2
Dyn. Nr. 2	99,2	- 5,2	- 102,7	- 91,2	- 15,6	83,6	86,7
Dyn. Nr. 3	88,3	- 3,5	- 79,6	- 77,9	- 13,0	75,3	79,6
Dyn. Nr. 4	82,2	- 2,5	- 80,2	- 72,6	- 11,6	70,6	74,4

Legende:

1) gemessen (Bild 7)

2) angenommen

3) $\sigma_{bV,0}$ aus statischer Berechnung, jedoch mit gemessener Vorspannkraft $V_0 = \sigma_{ST,0} \cdot F_{ST}$

4) $\sigma_{bg,0}$ aus statischer Berechnung

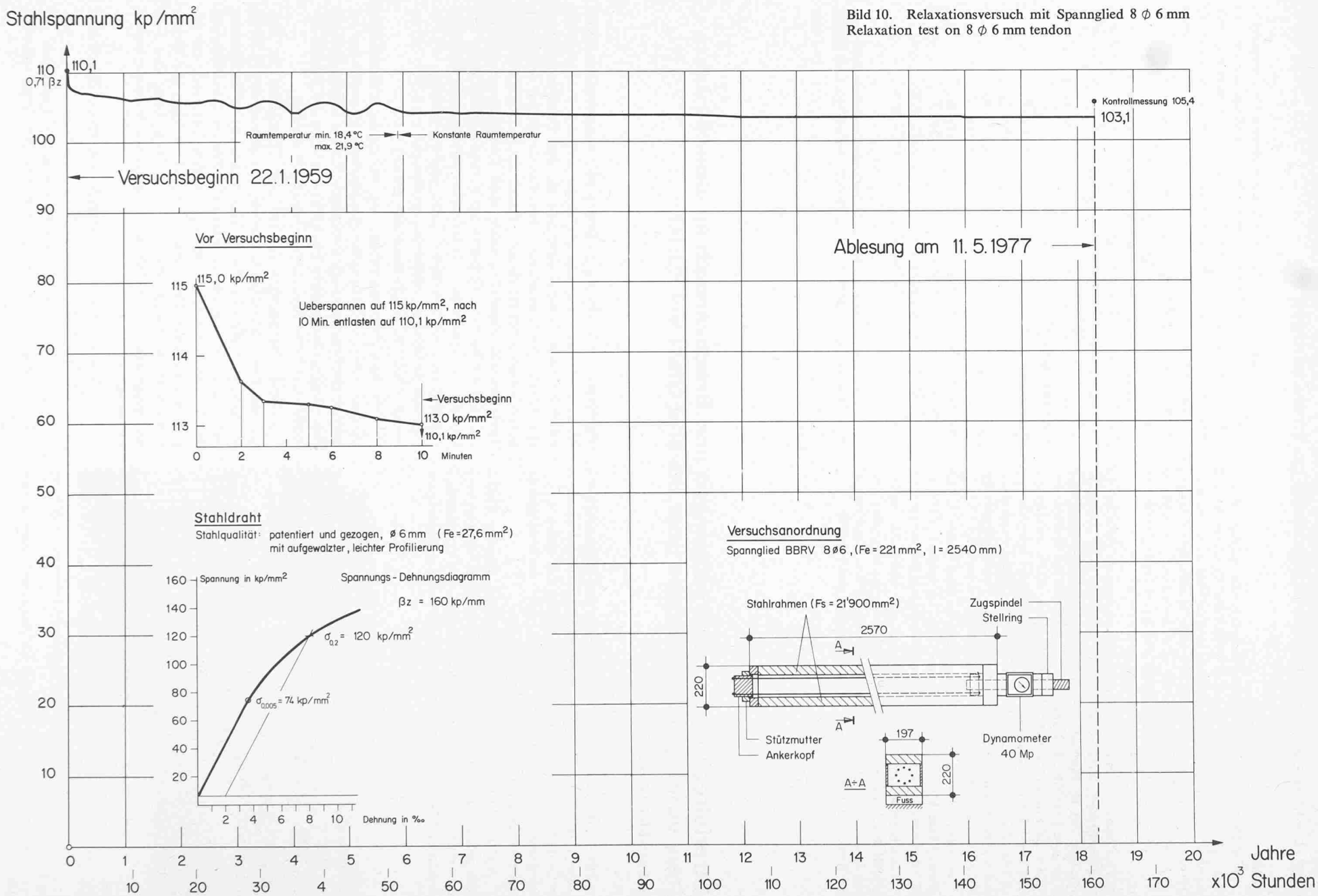
5) Berechnet mit Formel

6) Kolonne 1) minus Kolonne 5)

7) gemessen (Bild 7)

Bild 11. Spannungsverluste Monbijou-Brücke
Prestress losses Monbijou Bridge

Bild 10. Relaxationsversuch mit Spannglied 8 ϕ 6 mm
Relaxation test on 8 ϕ 6 mm tendon



Long-term measurements on prestressed concrete bridges

Synopsis

In order to draw a comparison between the calculated and actual values of long-term prestress losses due to shrinkage and creep in concrete and relaxation of prestressing steel, measurements of forces in the prestressing cables of 5 prestressed concrete bridges in Switzerland (see Figs. 4, 5 and 6a) were carried out over a period of between 5 and 20 years. The initial jack forces for the monitored cables varied between 125 to and 250 to per cable.

This paper presents details of the measurements recorded on one of the bridges, the Monbijou bridge across the River Aare near Berne (see Fig. 6). Precision dynamometers specially developed for the purpose (see Figs. 1, 2 and 3) were built in at the time of construction at 4 locations along the length of one of the prestressing cables and force measurements were made at regular intervals over a period of nearly 15 years. Depending on the initial prestressing force at the measurement locations, prestress losses of between 9.5% and 13.8% were observed at the end of this period.

A summary of the measurements taken on all 5 bridges is also presented (see Fig. 7) and these show that for similar values of initial prestress the prestress loss at any given time is almost identical.

Details are given of a test carried out over nearly 20 years at the EMPA laboratory to establish a value for the long-term prestress loss due to relaxation in a prestressing tendon consisting of 8 no. 6 mm dia. wires stressed to 110.1 kp/mm² (see Fig. 10).

In the final part of the paper the well-known CEB formula is used to calculate the prestress losses due to shrinkage and creep in concrete and relaxation of prestressing steel. A comparison is then made between the calculated and measured values of prestress for the Monbijou bridge (see Fig. 11) which shows that the CEB formula appears to deliver values for prestress losses which are 2.2% to 5.4% larger than the measured values and thus lie on the safe side.

The authors conclude that the long-term measurements show that in the case of these 5 bridges long-term prestress losses due to shrinkage, creep and relaxation have in fact occurred in their anticipated magnitude.

Conversion factors

Metric	*SI*	*Imperial*
1 mm		0,0394 in.
1 cm		0,3937 in.
1 m		3,2808 ft.
1 kp ≃	10 N	2,2056 lb.
1 Mp ≃	10 kN	0,9846 T
1 kp/mm² ≃	10 N/mm²	1423 lb./in.²
1 kp/cm² ≃	10 N/cm²	14.23 lb./in.²

Adresse der Verfasser: Dr. h.c. *M. Birkenmaier*, Bureau BBR Ltd., *H. Nil*, Stahlton AG, u. *H. R. Siegwart*, Proceq SA, Postfach, 8034 Zürich.

Materialtechnische Untersuchungen und Bruchversuch an einer 20 Jahre alten, vorgespannten Brücke über die alte Glatt bei Zürich

Von **Christoph Weder**, Dübendorf

Im Jahre 1954 wurde beim Ausbau der *Hauptverkehrsstrasse A von Zürich nach Winterthur* eine neue Brücke über die alte Glatt *bei Schwamendingen* erstellt. Es handelt sich um eine *vorgespannte Strassenbrücke*. Wegen des Autobahnbaues musste sie abgebrochen werden (Bild 1).

Auf Initiative des *Kantonsingenieurs des Kantons Zürich* sollte jedoch vor dem Abbruch die Gelegenheit wahrgenommen werden, an einem neuzeitlichen Bauwerk aus Spannbeton, das während 20 Jahren dem Strassenverkehr und den extremen Einflüssen der Witterung ausgesetzt war, *eingehende materialtechnische Untersuchungen am Beton und am Vorspannstahl* durchzuführen. Insbesondere galt es, den *Erhaltungszustand* der Brücke zu untersuchen. Die Brücke sollte Aufschluss geben können über die *Dauerhaftigkeit der Baustoffe Beton* und *Vorspannstahl*. Zusätzlich sollte auch überprüft werden, ob sich das *mechanische* Verhalten im Verlauf der Zeit unter den ständig schwankenden Belastungen infolge des Strassenverkehrs wesentlich verändert habe, und ob in einem solchen Fall sich die üblichen Methoden zur Berechnung des statischen Verhaltens immer noch anwenden liessen.

Bild 1. Blick von der Nordseite der Brücke im Vordergrund in Richtung Osten
View from the north of the bridge in the foreground, running eastwards

Brückenbelastungsproben, wie sie häufig durchgeführt werden, lassen das Verhalten des Bauwerkes jeweils nur im Bereich der Gebrauchslasten erkennen. Bei der Brücke über die alte Glatt sollte hingegen auch das *Verhalten im Bereich der Traglast*, d.h. *im Bruchzustand* überprüft werden.

Diese Überlegungen führten zum Entschluss, der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Versuchsanstalt (EMPA) in Dübendorf die Aufgabe zu übertragen, ein entsprechendes Versuchsprogramm auszuarbeiten [1]. Für die Durchführung der Versuche standen wohl *zwei Monate Zeit*, aber *nur begrenzte finanzielle Mittel* zur Verfügung, so dass ein Bruchversuch am gesamten Objekt nicht in Frage kam. Das *Versuchsprogramm* sah deshalb im wesentlichen folgende Untersuchungen vor:

1. Aufnahme des baulichen Zustandes der Brücke durch eine visuelle Kontrolle.
2. Fahrversuche über die Brücke mit einem Lastwagen zur Ermittlung des Schwingverhaltens der vorgespannten Platte.