

<b>Zeitschrift:</b>	Schweizer Ingenieur und Architekt
<b>Herausgeber:</b>	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
<b>Band:</b>	103 (1985)
<b>Heft:</b>	16
<b>Artikel:</b>	Vom Einfluss der Verlegemethode auf die Qualität der Vorspannung
<b>Autor:</b>	Rüst, Markus / Winkler, Niklaus
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-75756">https://doi.org/10.5169/seals-75756</a>

### 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:** 25.01.2026

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

# Vom Einfluss der Verlegemethode auf die Qualität der Vorspannung

Von Markus Rüst, St.Gallen, und Niklaus Winkler, Zürich

Heute sind verschiedene Methoden für das Verlegen von Spannkabeln gebräuchlich. Im Einzelfall richtet sich der Entscheid für eine dieser Methoden nach den Anforderungen des projektierenden Ingenieurs und insbesondere nach den Wünschen des ausführenden Unternehmers. Neuere Untersuchungen zeigen, dass die Art des Spannkabel-Einbaus die Spannungsverteilung im Kabel und den Kraftverlauf entlang dem Kabel beeinflusst. Die Wahl der Verlegemethode darf daher nicht einzig unter dem Aspekt eines einfachen Bauablaufes und eines möglichen Zeitgewinnes getroffen werden.

Wird die Kraftübertragung entlang dem Kabel (durch die Verlegemethode) beeinträchtigt, so muss dieser negative Einfluss in der statischen Berechnung Berücksichtigung finden. Ist nämlich die effektiv aufgebrachte Vorspannkraft beträchtlich kleiner als berechnet, so entspricht das Gebrauchsverhalten des Bauwerkes nicht den Annahmen, was zu frühzeitigen Schäden führt.

## Einleitung

Im Vergleich zu schlaff bewehrten Betontragwerken weisen vorgespannte Konstruktionen unter Dauerlasten einen günstigeren und gleichmässigeren Spannungsverlauf auf, da die Umlenkkräfte aus Vorspannung den ständigen Lasten entgegenwirken. Als Folge davon ergeben sich kleinere Deformationen. Für das Absenken des Lehrgerüstes und das Ausschalen ist somit eine, bezogen auf die Endfestigkeit, geringere Betonfestigkeit erforderlich. Daraus ergeben sich kurze Ausschalffristen. Die örtlich begrenzten, hohen Spannungen im Krafteinleitungsbereich der Spannkabel können durch eine kräftige Umschnürung aus schlafendem Stahl aufgenommen werden. Bei Verwendung einer Spezialverankerung, zum Beispiel mit Doppelspirale (BBRV Rapid-Verankerung), kann die volle Vorspannung schon bei einer Betonfestigkeit von rund  $20 \text{ N/mm}^2$  aufgebracht werden. Häufig lassen sich kürzere Ausschalffristen auch durch stufenweises Vorspannen erreichen.

Die günstigen Ausschalffristen, die geeignete Wahl von Baumethode, Betonier- und Schalabschnitten sowie von Kabelgrössen und Kabelführung bewirken im Bauablauf wesentliche Zeiteinsparungen.

Im meist äusserst gedrängten Bauprogramm kann jeder Arbeitsgattung nur eine eng begrenzte Zeitspanne eingeräumt werden. Dies gilt im speziellen auch für die Vorspannarbeiten. Diese Arbeiten sind so einzuplanen, dass sie nicht auf den kritischen Weg des Arbeitsablaufes fallen. Daraus ergeben sich unterschiedliche Anforderungen an die drei zeitlich getrennten Arbeitsabläufe: Kabelverlegen, Spannen und Injizieren.

Der Zeitpunkt des Kabeleinbaus wird

weitgehend von der Baumethode und von der Kabelanordnung sowie von der Arbeitsaufteilung zwischen Unternehmer und Vorspannfirma bestimmt. Entweder werden die Spannkabel zusammen mit der schlaffen Bewehrung in die Schalung verlegt, oder der Spannstahl wird während des Erhärtings des Betons in vorverlegte Hüllrohre eingebracht. Im ersten Fall ist es meist schwierig, die Verlegearbeiten aus dem kritischen Weg herauszuhalten, während dies im zweiten Fall leichter zu bewerkstelligen ist.

Der früheste Zeitpunkt für das Spannen ist gegeben durch das Erreichen der erforderlichen Betonfestigkeit. Die Arbeit der massgeblichen Spannetappe fällt auf den kritischen Weg und soll daher mit möglichst kleinem Zeitaufwand erledigt werden. Die zweckmässige Wahl der Kabelgrössen, eine einfache Spannreihenfolge (mit geringem Aufwand für das Umsetzen der Geräte von Spannanker zu Spannanker) und eine gute Zugänglichkeit der Spannstellen führen zu entscheidendem Zeitgewinn. Die Zementinjektion nach dem Spannen erzeugt den Verbund zwischen Spannkabel und Beton und gewährt gleichzeitig einen zuverlässigen und aktiven Korrosionsschutz. Das Verpressen der Spannkanäle ist normalerweise im Bauprogramm nicht starr festgelegt und kann zu einem geeigneten Zeitpunkt gleichzeitig mit anderen Arbeiten ausgeführt werden. Der zeitliche Spielraum für die Injektion wird allerdings dann wesentlich eingeschränkt, wenn die erforderliche Bruchsicherheit für die Bauzustände ohne Verbund nicht erreicht wird.

Um das Abbinden und Erhärten des Zementmörtels zu gewährleisten, ist eine Bauwerkstemperatur von mindestens  $+5^\circ\text{C}$  notwendig. Diese Bedingung ist zu berücksichtigen, falls Injektionsarbeiten während der Wintermonate eingeplant sind. Fällt ein Aufheizen des

Bauwerkes ausser Betracht, kann es nötig werden, diese Arbeiten zu verschieben. Dann sind besondere Korrosionsschutzmaßnahmen zur Überwinterung der eingebauten Spannkabel und oft auch eine spezielle Ausbildung der Injektionsanschlüsse erforderlich.

Die meisten Baustellen sind gut mechanisiert, um einen rationellen und raschen Bauablauf sicherzustellen. In vielen Fällen berücksichtigen jedoch die installierten Krane und Gerüste die Erfordernisse der Vorspannung bezüglich Kapazität und Reichweite zuwenig. Wegen gleichzeitig laufenden anderen Arbeiten ist zudem die zeitliche Verfügbarkeit der bauseitigen Hebezeuge häufig beschränkt. Insbesondere die Kabelverlegearbeiten müssen diesen Gegebenheiten angepasst werden. Nötigenfalls ist der Einsatz von separaten, leistungsfähigen Kleingeräten einzuplanen.

## Kabeleinbau

Grundsätzlich sind heute zwei Einbumentoden gebräuchlich:

- Das Verlegen von kompletten, werkgefertigten Kabeln* (Bild 1).  
Der Spannstahl wird im Werk auf die genaue Länge zugeschnitten und mit Hüllrohr und beiden Verankерungen versehen. Die fertigen Kabel werden, je nach Länge, offen oder auf Transportbobbins auf die Baustelle angeliefert und mittels Kran auf die Kabelhalter verlegt.
- Das Einbringen (vor oder nach dem Betonieren) des Spannstahles in vorverlegte Hüllrohre* (Bild 2).  
Die Ankerplatten und Hüllrohre werden in die Schalung verlegt. Der Spannstahl wird im Werk genau abgelängt, als geordnetes Bündel auf Transportbobbins aufgerollt und auf der Baustelle in die bereits verlegten Hüllrohre eingezogen. Diese Art des Einbaus ist in gleichem Massse für Draht- und Litzenbündel geeignet. Bei Litzenkabel werden die Ankerköpfe beidseits nach dem Einziehen angebaut. Drahtbündel werden mit einseitig im Werk angebautem Ankerkopf angeliefert; der zweite Ankerkopf wird nach dem Einziehen montiert. (In Ausnahmefällen ist es möglich, beide Verankerungen werkseits anzubringen.)

Aus diesen zwei grundsätzlich verschiedenen Einbauarten sind Varianten entwickelt worden, um die individuellen Bedürfnisse der Baustellen bezüglich Bauprogramm und Installationen möglichst optimal zu berücksichtigen. Beim Einbringen von Litzenkabeln in vorverlegte Hüllrohre liegt der Gedanke

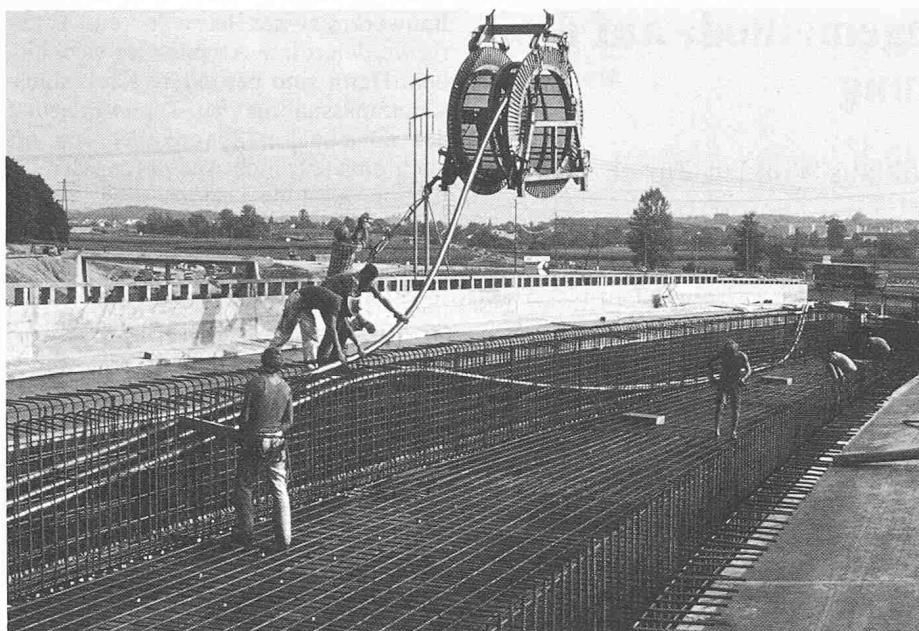


Bild 1. Verlegen von werkgefertigten Kabeln

nahe, die Litzen einzeln einzustossen und abzulängen. Diese Baustellenfertigung von Litzenkabeln ist sehr gebräuchlich. Es stellt sich die Frage, ob bei einer solchen baumässigen Herstellung nicht ein Produkt entsteht, das in seinen Eigenschaften wesentlich von einem werkgefertigten Kabel abweichen kann und inwieweit dadurch allenfalls die Qualität des Bauwerkes beeinträchtigt wird.

Das Gebrauchsverhalten und die Dauerhaftigkeit eines vorgespannten Tragwerkes werden ganz wesentlich von folgenden Faktoren beeinflusst:

- Art des Kabeleinbaus
- Baumethode
- Sorgfalt der Ausführung.

Neuere Untersuchungen bestätigen, dass diese Einflüsse für das Reibungsverhalten und damit für den Kraftverlauf entlang dem Kabel, die Kraftverteilung auf die einzelnen Elemente des Spannstahlbündels sowie den Spannweg des Kabels entscheidend sind.

Eine ungeeignete Verlegemethode kann Brüche einzelner Spannstähle (als Folge einer ungleichmässigen Kraftverteilung im Bündelquerschnitt) oder zu hohe Reibungsverluste im Spannglied verursachen. Die möglichen Auswirkungen sind frühzeitige Risse und Schädigungen des Bauwerkes.

Zur Kontrolle des tatsächlichen Kraftverlaufes ist es üblich, aus dem gemessenen Spannweg die Dehnung des Kabels zu ermitteln (Bild 3) und mit dem berechneten, theoretischen Wert zu vergleichen. Die Übereinstimmung von theoretischem und gemessenem Dehnweg garantiert aber noch nicht die Richtigkeit der tatsächlich eingetragsenen Vorspannkraft. Der Vergleich ist nur dann aussagekräftig, wenn im ge-

spannten Kabel zwei wichtige Voraussetzungen erfüllt sind:

- Die Spannkraft muss sich auf alle Einzelemente (Litzen oder Drähte) des Bündels gleichmässig verteilen. Die Spannung in einem Bündelquerschnitt muss für alle Einzelemente gleich hoch sein.
- Die Einzelemente dürfen sich während des Spannens nicht gegenseitig behindern oder gar verklemmen, das heisst, das Reibungsverhalten des Spanngliedes darf nicht wesentlich von den theoretischen Annahmen abweichen (Bild 3).

#### Litzenkabel

In einem durch Einstossen von Einzellitzen zusammengebauten Spannglied weisen die Litzen – je nach ihrer Lage im Hüllrohr und je nach Weg, den sie beim Einstossen wählen – unterschiedliche Längen auf. Dies ist besonders ausgeprägt bei längeren, stärker gekrümmten und grösseren Kabeleinheiten. Es entsteht dabei ein mehr oder weniger ungeordnetes Bündel aus verschiedenen langen, sich kreuzenden Einzelementen. Damit ergibt sich eine unregelmässige Spannungsverteilung im Bündel, und es entstehen unkontrollierbare Klemmeffekte. Je grösser die Streuung der Einzellängen, desto ungleichmässiger ist die Spannungsverteilung.

In Bild 4 ist die Abhängigkeit der Spannungen von den Längenunterschieden zwischen den einzelnen Litzen eines Bündels dargestellt. Sie zeigt am Beispiel eines Kabels mit einem üblichen Reibungsverlust und einer mittleren Kabeldehnung von 5,5‰ (Verhältnis totaler Dehnweg zu Kabellänge), dass eine um nur 1‰ der mittleren Kabellänge kürzere Litze beim erlaubten



Bild 2. Einziehen von Drahtbündeln in vorverlegte Hüllrohre

Überspannen auf 75% der Nennfestigkeit ( $f_{tk}$ ) bereits die Fliessgrenze ( $f_y$ ) erreicht.

In Frankreich ist das Einstossen von Einzellitzen seit Jahren üblich. Diese Art des Kabeleinbaus wird regelmässig beim Erstellen von Brücken in Segmentbauweise angewendet. Am FIP-Kongress in Stockholm 1982 wurden in der Publikation «La technique française du béton précontraint» Untersuchungen und Messresultate an Vorspannkabeln solcherart hergestellter Brücken präsentiert.

Die Autoren Bois und Chabert vom «Laboratoire Central des Ponts et Chaussées» haben an verschiedenen Kabeln mittels Kraftmessungen an den einzelnen Litzen die Spannungsverteilung im Bündelquerschnitt untersucht und starke Unregelmässigkeiten festgestellt. In kurzen, extrem gekrümmten Kabeln wurden bis zu 25% Spannungsunterschiede zwischen den einzelnen Litzen gemessen [1].

Eine Publikation der Autoren Brevet, Creton und Gourmelon von der gleichen Prüfanstalt (LCPC) befasst sich mit dem Einfluss der Längenunterschiede zwischen den einzelnen Litzen eines Kabels auf den Dehnweg des Gesamtbindels. Die Verfasser stellen fest, dass Längenunterschiede von 1-2‰ den Dehnweg nicht signifikant beeinflussen. Erst die in der Praxis gemessenen Unterschiede von 3-4‰ (das heisst 55-70% des planmässigen Dehnweges) zeigten eine deutliche Erhöhung des Kabel-Dehnweges gegenüber demjenigen einer Einzellitze [2].

Die Herren Virlogeux und Jaeger von der «Division des Grands Ouvrages en Béton du SETRA» kommen übereinstimmend mit den vorgängig erwähnten Autoren zum Schluss, dass der ge-

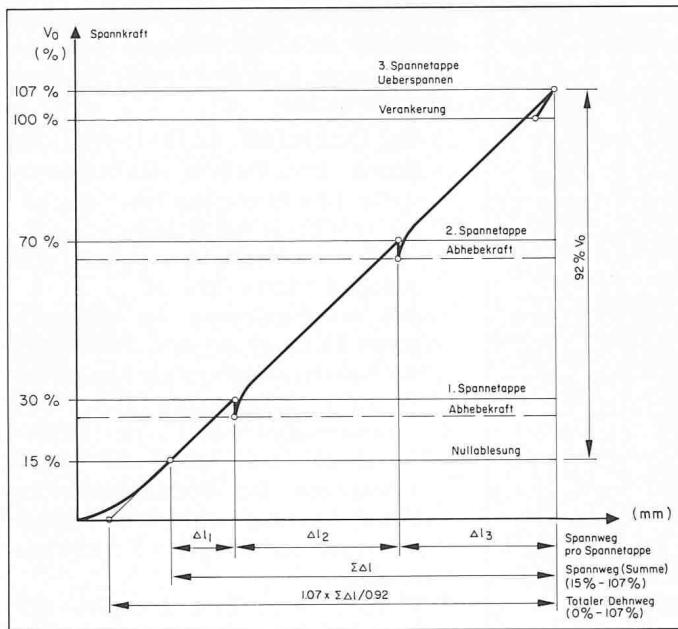


Bild 3. Ermittlung des totalen Dehnweges aus dem gemessenen Spannweg

messene Dehnweg wesentlich von der Art des Kableinbaus abhängt, und dass von ihm nicht zuverlässig auf die tatsächliche Spannung im Kabel geschlossen werden kann (obwohl er in der Regel recht gut mit dem theoretisch errechneten Dehnweg übereinstimmt) [3].

Diese klare Aussage stützt sich auf eine grosse Anzahl Kraftmessungen an Litzenkabeln in verschiedenen Brücken, welche in Segmentbauweise ausgeführt wurden. Dabei wurde an jedem Kabel die an kommende Kraft ( $V$ ) am festen Kabelende gemessen, welche einer aufgebrachten Kraft ( $V_0$ ) am Spannanker entsprach. Daraus wurde der Kraftübertragungskoeffizient  $K = V/V_0$  bestimmt. Die Autoren haben die effektiv gemessenen Werte ( $K_{eff}$ ) verglichen mit den theoretischen ( $K_{theor}$ ), welche den statischen Berechnungen zugrunde liegen. Die Vergleichswerte ( $K_{eff}/K_{theor}$ ) für die 16 untersuchten Kabelgruppen sind in Bild 5 aufgetragen. Die Kabel innerhalb einer jeden Gruppe weisen einen analogen geometrischen Verlauf auf. Dargestellt sind Extremal- und Mittelwerte.

Das Verhältnis ( $K_{eff}/K_{theor}$ ) gibt an, wie gross die am festen Anker an kommende Vorspannkraft tatsächlich ist, verglichen mit dem in der statischen Berechnung ermittelten Wert.

Im Falle der Kabelgruppe 7 (mit 22 Kabeln) beträgt der Mittelwert weniger als 50% und der tiefste Wert für das ungünstigste Kabel gar nur 19%! Es ist selbstverständlich, dass solche übermässigen Abweichungen zwischen tatsächlicher und berechneter Spannkraft schon früh zu grösseren Schäden und Reparaturen führen müssen.

Aus den gemessenen Kraft-Übertra-

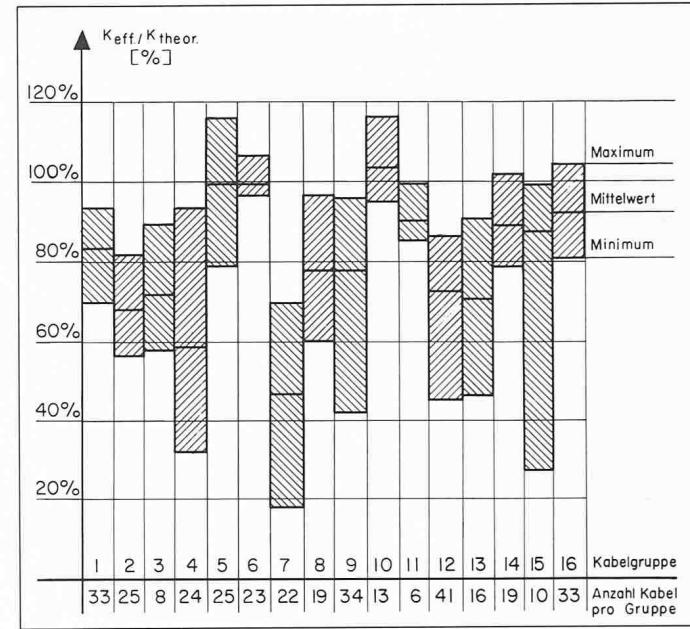


Bild 5. Effektiv gemessene Spannkraft am festen Kabelende in % der rechnerischen Sollkraft

gungskoeffizienten haben Virlogeux und Jaeger nach der bekannten Reibungsformel

$$V = V_0 \cdot e^{-(\mu\alpha + \mu\Delta\alpha \cdot L)}$$

die tatsächlichen Reibungsverluste bestimmt und mit den Bemessungswerten verglichen.

Das Verhältnis

$$\lambda = \frac{(\mu\alpha + \mu\Delta\alpha \cdot L)_{eff}}{(\mu\alpha + \mu\Delta\alpha \cdot L)_{theor}}$$

ist ein Mass für die Übereinstimmung von rechnerischer Annahme und Realität. Daraus ergeben sich die effektiven Reibungsbeiwerte zu ( $\mu \Delta\alpha$  in  $\text{arc} \cdot \text{m}^{-1}$ ):

$$\mu_{eff} = \lambda \cdot \mu_{theor}; (\mu\Delta\alpha)_{eff} = \lambda \cdot (\mu\Delta\alpha)_{theor}$$

Für den Fall  $\lambda = 1$  entsprechen die gemessenen Reibungsverluste den Rechenwerten.

Tabelle 1 gibt die Resultate der Kraftmessungen von 16 verschiedenen Kabelgruppen mit insgesamt 351 Spanngliedern wieder. Für jede Kabelgruppe sind die Mittelwerte von  $\lambda$  und die entsprechende Standardabweichung  $\sigma_\lambda$  angegeben. Die Werte für  $\lambda$  liegen zwischen 1 und 6. Das heisst, die in der Rechnung berücksichtigten Reibungsverluste wurden in den meisten Fällen im Bauwerk wesentlich überschritten. Der grösste Wert  $\lambda_{max}$  für ein einzelnes Kabel beträgt 9,5, was tatsächliche Reibungsbeiwerte  $\mu_{eff} = 1,7$  und  $(\mu\Delta\alpha)_{eff} = 15,15 \cdot 10^{-3}$  ergibt, bei Rechenannahmen von  $\mu_{theor} = 0,18$  und  $(\mu\Delta\alpha)_{theor} = 1,6 \cdot 10^{-3}$ !

Die Mittelwerte aus allen Kabelgruppen betragen (Tabelle 1):

$$\mu_{eff} = 0,36; (\mu\Delta\alpha)_{eff} = 3,04 \cdot 10^{-3}$$

Die ausserordentlich grossen Streuungen innerhalb (charakterisiert durch  $\sigma_\lambda$ ) und zwischen (belegt durch die Ver-

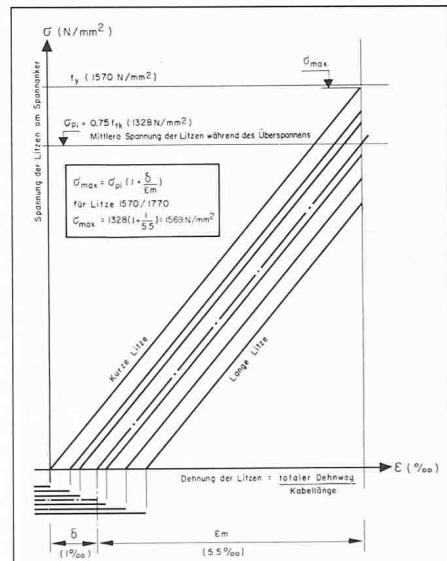


Bild 4. Spannungsverteilung in einem Bündel aus ungleichlangen Litzen

änderlichkeit von  $\lambda$ ) den Kabelgruppen lassen es unmöglich erscheinen, einen für die Bemessung gültigen Reibungsbeiwert festzulegen. Mit dem Mittelwert dürfte man sich sicherlich nicht begnügen. Diese Beobachtungen lassen berechtigte Zweifel aufkommen, ob es bei einer solchen Baumethode überhaupt möglich ist, die zu erwartenden Reibungsverluste einigermassen treffend abzuschätzen.

Durch das Einziehen des ganzen Litzenbündels in das Hüllrohr anstelle des Einstossens der einzelnen Litzen kann der Reibungsbeiwert und dessen Streuung verringert werden. Empfehlungen des Bureau BBR für CONA-Multi Litzenkabel bis  $19 \text{ Ø } 0,6''$ , so wie sie z. B. auf Grossbaustellen in Holland und Saudi-Arabien zur Anwendung gelangten:  $\mu = 0,22 \pm 0,03$ ;  $\mu\Delta\alpha = (1,1 \pm 0,25) \cdot 10^{-3}$

Objekt	Anzahl Kabel	Theoretische Reibungsbeiwerte		$\lambda$	$\sigma_\lambda$	Effektive Reibungsbeiwerte	
		$\mu$	$\mu \Delta \alpha$			$\lambda \cdot \mu$	$\lambda \cdot \mu \Delta \alpha$
Hayange	33	0,17	$1,6 \cdot 10^{-3}$	2,580	0,567	0,44	$4,13 \cdot 10^{-3}$
	25			2,386	0,386	0,41	$3,82 \cdot 10^{-3}$
	8			6,042	2,339	1,03	$9,67 \cdot 10^{-3}$
	24			3,571	1,291	0,61	$5,71 \cdot 10^{-3}$
Sac Queven	25	0,18	$1,6 \cdot 10^{-3}$	1,032	0,291	0,19	$1,65 \cdot 10^{-3}$
	23			1,069	0,171	0,19	$1,71 \cdot 10^{-3}$
Fontenoy	22	0,18	$1,6 \cdot 10^{-3}$	2,381	0,720	0,43	$3,81 \cdot 10^{-3}$
Tricastin	19	0,18	$1,6 \cdot 10^{-3}$	1,947	0,584	0,35	$3,12 \cdot 10^{-3}$
Ottmarsheim	34	0,22	$0,5 \cdot 10^{-3}$	1,890	0,530	0,42	$0,95 \cdot 10^{-3}$
Ru de Maubuée	13	0,21	$2,5 \cdot 10^{-3}$	0,992	0,199	0,21	$2,48 \cdot 10^{-3}$
Saint-Maurice	6	0,21	$2,0 \cdot 10^{-3}$	1,280	0,209	0,27	$2,56 \cdot 10^{-3}$
Saint-Brieuc	41	0,18	$1,6 \cdot 10^{-3}$	1,972	0,387	0,35	$3,16 \cdot 10^{-3}$
	16			2,061	0,598	0,37	$3,30 \cdot 10^{-3}$
	19			1,399	0,352	0,25	$2,24 \cdot 10^{-3}$
	10			1,584	1,131	0,29	$2,53 \cdot 10^{-3}$
	33			1,289	0,326	0,23	$2,06 \cdot 10^{-3}$
Total	351			Mittelwert:	0,36		$3,04 \cdot 10^{-3}$

Tabelle 1. Kraftmessungen an 16 Kabelgruppen mit insgesamt 351 Spanngliedern

Gleichzeitig ergibt sich eine günstigere Spannungsverteilung über den Bündelquerschnitt, weil die Längenunterschiede der Litzen geringer sind. Es darf daher auch angenommen werden, dass die Übereinstimmung zwischen gemessenen und gerechnetem Dehnweg eher einen gültigen Hinweis für den richtigen Kraftverlauf darstellt.

Die Reibungsbeiwerte von geordneten Litzenkabeln liegen jedoch im allgemeinen über denjenigen von Drahtkabeln. Dies zeigen systematische, vergleichende Untersuchungen an stark gekrümmten Kabeln bei gleichen Randbedingungen [4]. Der Grund für diesen nicht vernachlässigbaren Unterschied ist zur Hauptsache die nachweislich geringere Reibung des Einzeldrahtes im Vergleich zur Litze.

### Drahtkabel

Bei BBRV-Drahtkabeln werden stets alle Drähte im Werk millimetergenau auf die gleiche Länge zugeschnitten und parallel gebündelt. Damit ergeben sich beim Spannen keine wesentlichen Spannungsunterschiede zwischen den einzelnen Drähten, und das Reibungsverhalten stimmt mit den für die Bezeichnung empfohlenen Werten von  $\mu = 0,13 \pm 0,03$  und  $\mu \Delta \alpha = (0,65 \pm 0,25) \cdot 10^{-3}$  gut überein.

Für komplett werkgefertigte sowie für eingezogene Drahtkabel wurden periodisch «Reibungsmessungen» durchgeführt. Als Beispiel sei hier die Monbijou-Brücke in Bern erwähnt [5].

Die aus 43 Kraftmessungen an 13 verschiedenen Brücken berechneten Rei-

bungsbeiwerte bestätigten vollumfänglich die erwarteten Werte:

$$\text{Mittelwerte: } \mu = 0,128; \mu \Delta \alpha = 0,64 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{Standardabweichungen: } \sigma_\mu = 0,021; \sigma_{\mu \Delta \alpha} = 0,11 \cdot 10^{-3}$$

Messungen am Lehnenviadukt Rauchenkatsch der Autobahn Salzburg-Villach an eingezogenen Drahtkabeln mit Längen bis zu 265 m und grossen Umlenkwinkeln ergaben Reibungsbeiwerte von

$$\mu = 0,148 \text{ und } \mu \Delta \alpha = 0,75 \cdot 10^{-3}$$

und die gemessenen Spannwege zeigten eine äusserst kleine Streuung sowie eine gute Übereinstimmung mit den Rechenwerten.

Allgemein weichen die Reibungsbeiwerte von eingezogenen Drahtkabeln nur unwesentlich von denjenigen der werkgefertigten Kabel ab und liegen innerhalb der für BBRV-Kabel empfohlenen Grenzwerte.

Da die stichprobenweise Überprüfung der Reibungsbeiwerte von Drahtkabeln eine gute Übereinstimmung mit den empfohlenen Rechenwerten zeigt und die Streuung zudem gering ist, kann auf eine systematische Kraftmessung an beiden Kabelenden verzichtet werden. Bei Drahtkabeln besteht eine gültige Beziehung zwischen Dehnweg und Kraftverlauf, und es ist somit erlaubt, über den gemessenen Spannweg auf den Kraftverlauf zu schliessen.

### Schlussfolgerung

Die Beeinflussung der Qualität eines Bauwerkes im Gebrauchszustand durch die Art des Kabeleinbaus und durch die Baumethode wurde bis anhin wenig beachtet. Sollen Schäden vermieden werden, so ist es unabdingbar, diese Einflüsse zu berücksichtigen. Aus den Darlegungen können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Für Drahtkabel und für Litzenkabel gelten verschiedene Reibungsbeiwerte. Das Einstossen von Einzellitzen erhöht die Reibungsbeiwerte zusätzlich im Vergleich zu einem einzogogenen Litzenbündel.
- Bei der Festlegung der rechnerischen Reibungsbeiwerte sind die Art des Kabeleinbaus und die Baumethode zu berücksichtigen. (Der Vernehmlassungsentwurf der SIA-Norm 162 weist zwar auf grosse Streuungen der Reibungsbeiwerte hin, differenziert aber weder bezüglich Spannstahlart noch Verlegemethode.)

□ Werden beim Zusammenbau der Spannkabel die Litzen einzeln eingeschlissen, so besteht keine zuverlässige Beziehung zwischen dem gemessenen Dehnweg und dem Kraftverlauf. Einzig Kraftmessungen an beiden Kabelenden können Aufschluss geben über das tatsächliche Reibungsverhalten und den Kraftverlauf entlang dem Kabel. Daher sind solche Kraftmessungen an einer grösseren Zahl von Kabeln mit verschiedener Geometrie erforderlich.

- Bei der Festlegung der zulässigen Vorspannkraft sind die unterschiedlichen Spannungen in den einzelnen Litzen, welche aus den Längenunterschieden herrühren, zu berücksichtigen. Das Erreichen der Fliessspannung in einzelnen Litzen muss vermieden werden.

### Literatur

- [1] «Mesure des coefficients de transmission des forces de précontrainte et utilisation dans la conduite des chantiers», von C. Bois und A. Chabert, aus «La technique française du béton précontraint», FIP Stockholm 1982.
- [2] «Comportement à la mise en tension de câbles de précontrainte, détermination du module d'élasticité», von P. Brevet, B. Creton und J.-P. Gourmelon, aus «La technique française du béton précontraint», FIP Stockholm 1982.
- [3] «Pertes de précontrainte par frottement, dans le cas des ponts construits par encorbellements successifs», von M. Virleux und D. Jaeger, aus «La technique française du béton précontraint», FIP Stockholm 1982.
- [4] EMPA-Versuche 1981-1983
- [5] Langzeitmessungen an Spannbetonbrücken, Schweiz. Bauzeitung 14/1978, von Dr. Max Birkenmaier, H.U. Nil und H.R. Siegwart.