

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 112 (1994)  
**Heft:** 21

**Artikel:** Externe Vorspannung: eine Standortbestimmung.  
**Autor:** Vogel, Thomas  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-78450>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 29.01.2025

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

Diskussion über ökologische Wertungsfragen geführt werden, mit dem Ziel, gesetzliche Umweltschutzforderungen und deren Konsequenzen in die wirtschaftliche Betrachtungsweise einbeziehen zu können.

### Thesen

Folgende Thesen seien zur Diskussion gestellt, um die eingangs erwähnten Visionen nicht zur Realität werden zu lassen (Bild 3):

*These 1:* Umwelt- und Sicherheitsziele sollen in Zukunft vermehrt nicht mehr auf das technisch Mögliche ausgerichtet werden, sondern auf das wirtschaftlich und ökologisch Sinnvolle.

*These 2:* Bei der Festlegung von Umwelt- und Sicherheitszielen sollen nicht

nur Beamte von Umweltschutz-Fachstellen massgeblich mitarbeiten, sondern auch Interessenvertreter der für die Finanzierung der Umweltmassnahmen zuständigen Instanzen.

*These 3:* Die entsprechenden Grundlagenarbeiten, auf denen Umwelt- und Sicherheitsziele basieren, sind gleichgewichtig einerseits zur Darstellung der beabsichtigten Reduktion der Umweltauswirkungen (inkl. fallweiser Monetarisierung) sowie andererseits zur Bestimmung der Mittel zur Finanzierung dieser Massnahmen zu erstellen.

*These 4:* Als Mittel zum vergleichenden Einbezug sowohl der mit den Massnahmen ermöglichten Umweltbelastungsreduktion als auch der damit verbundenen finanziellen Aufwendungen sollte vermehrt die Nutzwertanalyse oder

eine eigentliche Kosten/Nutzen-Analyse verwendet werden.

Bei der Beurteilung dieser Thesen darf nie vergessen werden, dass, auch wenn man keine eigentlichen quantifizierten Bewertungsanalysen durchführt, bei jedem getroffenen Entscheid über Massnahmen entsprechende Wertungen, allerdings implizit, einfließen. Die Frage ist also nicht, ob ein Entscheid auf solchen Wertungsanalysen basieren soll, sondern vielmehr, wie explizit der Entscheid effektiv nachvollziehbar und auf für eine breitere Öffentlichkeit zugänglichen Entscheidungsbasen abgestützt ist.

Adresse des Verfassers: *Ulrich G. Stiefel*, dipl. Ing. ETH/SIA, Ingenieurunternehmung Gruner AG, Gellertstrasse 55, 4020 Basel.

## Externe Vorspannung

### Eine Standortbestimmung

**Die externe Vorspannung stellt eine Alternative zur konventionellen Vorspannung mit Verbund dar. Aus Anlass eines Workshops im Juni 1993 in der Nähe von Paris sollen der heutige Stand der Technik und einige Forschungsprojekte gestreift werden. Anschliessend werden Vorschläge zur Bemessung aufgeführt und mögliche Entwicklungen aufgezeigt.**

Im konventionellen Spannbeton werden die Vorspannkabel innerhalb des Betonquerschnittes geführt und nach

VON THOMAS VOGEL, ZÜRICH

der letzten Spannetappe ausinjiziert. Die externe Vorspannung hingegen führt die Kabel ausserhalb des Querschnittes, bei Brücken meist im Hohlkasten oder seitlich von Längsrippen. Die Kabellage ist polygonal und kommt durch Verankerungskonstruktionen und Kabelsättel zustande (Bild 1).

### Historisches

Dieses Konzept ist nicht neu. *F. Dischinger* errichtete bereits 1927/28 einen Zweigelenkbogen über die Saale in Altleben, dessen Zugband aus vernieteten Flachstäben vorgespannt wurde [1]. 1936/37 baute er in Aue in Sachsen eine Strassenbrücke als vorgespannten Dreifeld-Gerberträger mit maximal 36 ausenliegenden Spannstrangen von 70 mm Durchmesser [2]. Auch in Belgien, England und Frankreich wurden einige Brücken mit externer Vorspannung gebaut, da nur so die Spannkraftverluste

aus Schwinden und Kriechen durch Nachspannen wieder kompensiert werden konnten. Mit der Anwendung hochfester Stähle geriet die Bauweise etwas in Vergessenheit, da die Langzeitverluste beherrschbar und berechenbar wurden und die Vorspannung mit Verbund einen maximalen Schutz der Spannkabel im alkalischen Beton versprach.

Die externe Vorspannung erfreut sich seit einigen Jahren in verschiedenen Ländern aus unterschiedlichen Gründen erneuter Beliebtheit.

In den *Vereinigten Staaten* vermochten die injizierten Kabel für die Segmentbauweise nicht zu befriedigen, stellte

doch beim Injizieren jede Fuge für jedes Kabel eine potentiell undichte Stelle dar. Externe Kabel erlauben, die Stegstärken und damit das bei jeder Elementbauweise entscheidende Elementgewicht zu reduzieren. Die Kabel werden deshalb seit 1977 (Long Key Bridge) aus rein ökonomischen Gründen mehrheitlich extern geführt und eher pragmatisch in Stahl- oder HDPE-Hüllrohren mit Zement ausinjiziert [3].

In *Frankreich* standen Qualität und Quantität des Stegbetons im Vordergrund. Die traditionell volle Vorspannung und restriktive Bemessungsvorschriften führten zu grossen Stegstärken und damit zu schweren Querschnitten. Zudem bestand beim Taktvorschub der Wunsch nach grosser zentrischer Vorspannung in der Bauphase. Die externe Vorspannung kam diesen Wünschen entgegen, erlaubt sie doch einen qualitativ hochwertigen Stegbeton ohne störende Kabel und die Anordnung antisymmetrisch geführter temporärer Spannkabel für den Taktvorschub. Überdies wurden die einfacheren Bedingungen für das Installieren und Injizieren der

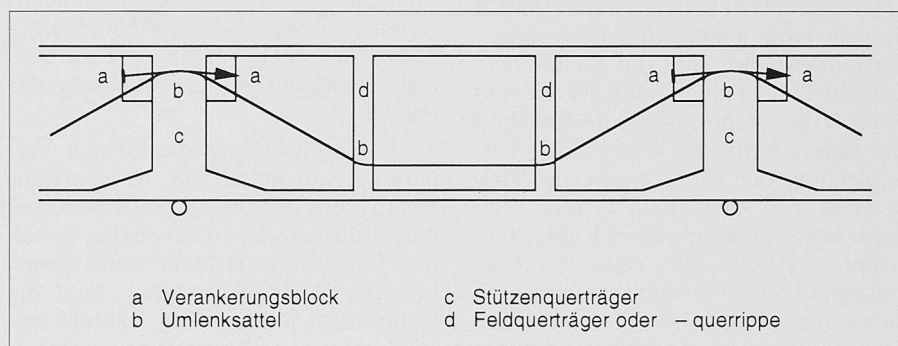


Bild 1. Kabelführung im Brückenkasten

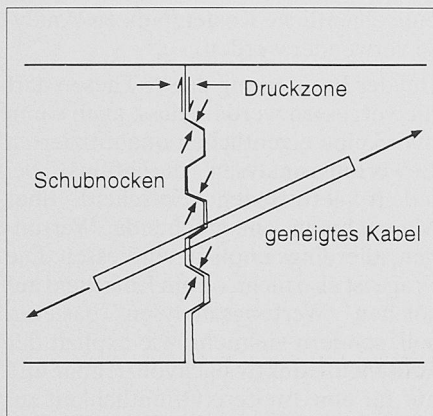


Bild 2. Aufnahme der Querkraft in Segmentfuge

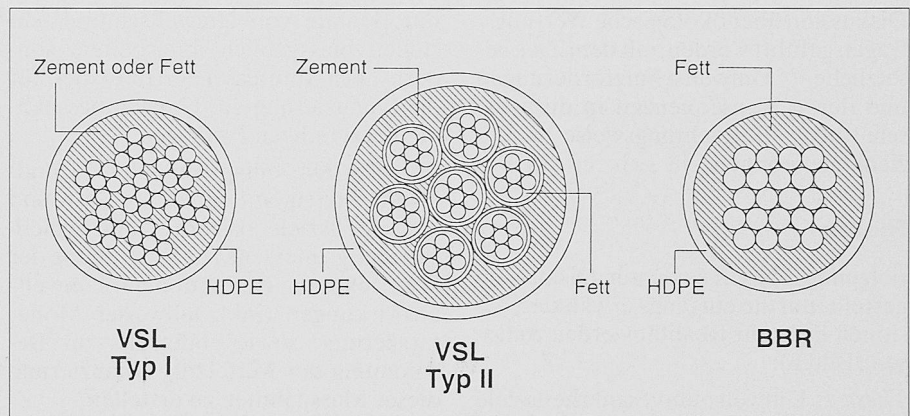


Bild 3. Kabelquerschnitte [5, 6]

Kabel erkannt. So wurden zwischen 1982 und 1991 58 Objekte mit externer Vorspannung vollendet [4].

In der Schweiz und in der Bundesrepublik Deutschland entstanden einige Pilotprojekte, vor allem aus der Sorge um nicht fachgerecht injizierte Spannkabel konventioneller Brücken. Externe Kabel lassen sich nicht nur besser inspizieren; sie sind bei entsprechender Detailausbildung bei Bedarf auch auswechselbar.

Im Gegensatz zu Neubauten, wo mancherorts noch Bedenken herrschen, wurden bei Instandsetzungen, Erneuerungen und Erweiterungen schon immer externe Kabel verwendet, da sie häufig die einzige vernünftige Lösung darstellten.

### Stand der Technik

Die *Association française pour la construction (AFPC)* veranstaltete im Juni 1983 in St. Rémy-Lès-Chevreuse (F) einen Workshop zum Verhalten von extern vorgespannten Tragkonstruktionen. Die Ergebnisse sollen in der Folge gesichtet und kommentiert werden [5].

### Das Biegeverhalten

Da die Kabel nur in den Verankerungen und den Sätteln mit dem Brückenträger verbunden sind, sind die Dehnungen der Kabel nicht mehr identisch mit denjenigen des Betonträgers; die Ebenheit der Querschnitte als wesentliche Voraussetzung der Biegetheorie des Balkens ist also nicht mehr erfüllt. Vielmehr ist die Dehnung eines Kabels zwischen zwei Umlenk- oder Verankerungspunkten konstant. Gerissene Betonquerschnitte oder gar klaffende Segmentfugen führen zu keinen Spannungsspitzen und nur kleinen Span-

nungszunahmen. Sind die Kabel gefettet statt injiziert, oder können die Hüllrohre auf den Sätteln gleiten, kann sogar ein Spannungsausgleich über die ganze Kabellänge erfolgen.

Zahlreiche Forschungsprojekte versuchen, dieses Verhalten numerisch zu erfassen, indem Träger und Kabel als Stabelemente modelliert werden, die in den Sätteln durch Haft- und Gleitbedingungen gekoppelt sind. Für die praktische Bemessung genügt es in der Regel, die beiden Extremfälle «Gleiten ohne Reibung» und «Kabel blockiert» für alle Sättel zu betrachten. Die Kabelverlängerungen und damit die Spannkraftzunahmen ergeben sich aus rein geometrischen Betrachtungen am verformten Tragwerk.

### Ermüdung

Ermüdungsprobleme im Kabel sind kaum relevant, da, wie eben gezeigt, die Spannungsamplituden klein sind und – im Unterschied zu Schrägseilbrücken – keine Anregung von Resonanzschwingungen durch Wind zu erwarten ist. Hingegen muss die Reibermüdung in den Kabelsätteln näher betrachtet werden. Anzustreben ist, dass die Haftreibung Relativverschiebungen zwischen Kabel und Sattel verhindert. Versuche zeigen, dass dies für Spannungsamplituden, wie sie unter Verkehrslasten auftreten können ( $\Delta\sigma=35 \dots 40 \text{ N/mm}^2$ ), bereits bei Umlenkwinkeln  $\alpha > 4^\circ$  nach einigen zehntausend Lastwechseln der Fall ist.

Zu beachten bleiben die lokalen Verhältnisse am Sattelrand, wo durchaus Relativverschiebungen zwischen Kabel und Hüllrohr oder zwischen den einzelnen Litzen bzw. Drähten vorkommen können. Wichtig ist dabei, dass die Kabel nicht über scharfe Kanten, beispielsweise aus Versetzungsgenauigkeiten der Sättel geführt werden.

### Schubprobleme

Spezielle Probleme ergeben sich nur bei Segmentfugen, die im Bruchzustand klaffen, so dass sich kein Schubfeld über die ganze Trägerhöhe mehr ausbilden kann. Die Querkraft muss vielmehr durch die Schubnocken, die Reibung in der Druckzone und allfällige geneigte Kabel aufgenommen werden (Bild 2). Bei externer Vorspannung klaffen die Segmentfugen im Bereich extremer Momente stärker, so dass genauer untersucht werden muss, wie weit die Schubnocken noch wirken können.

Geklebte Fugen führen zu einem gleichmässigeren Rissbild, grösserer Duktilität und höheren Traglasten.

### Kabel

Bei den Kabeln zeichnet sich eine Zweiteilung des Marktes ab: einerseits die zementinjizierten Kabel, die vor allem kostengünstig sein müssen, für die amerikanische Philosophie, andererseits die gefetteten und damit nachspannbaren Kabel, die meist auch auswechselbar sein sollen, für das europäische Konzept. Solche Kabel weisen mehrere Barrieren für eindringende Medien und damit Korrosion auf (Bild 3).

Für die Verankerungen finden die bewährten Produkte der verschiedenen Spannsysteme – teilweise mit kleinen Modifikationen – Anwendung.

### Bemessung auf Tragsicherheit

Der Nachweis der Tragsicherheit kann auf zwei verschiedene Arten erfolgen. Entweder werden die Kabel wie interne Spannglieder ohne Verbund behandelt. Das bedeutet, dass die im Bruchzustand vorhandene Kabelzugkraft als Widerstand des Trägerquerschnittes berücksichtigt wird. Dieses Vorgehen ist jedoch unbefriedigend, da die Kabel

nicht Teil des Querschnittes sind und unter Last ihre Lage bezüglich desselben ändern können.

Näher liegt es, die Vorspannung als äussere entlastende Einwirkung zu betrachten. Damit stellt sich für das Bemessungskonzept mit Teilsicherheitsfaktoren sofort die Frage nach dem anzunehmenden Lastfaktor  $\gamma_P$ . Es kann gezeigt werden, dass dem ersten Vorgehen ein Lastfaktor  $\gamma_P = 1/\gamma_R$  entspricht ( $\gamma_R$ : Widerstandsbeiwert). Wird  $\gamma_R = 1.2$  gesetzt (Norm SIA 162), so wird  $\gamma_P = 0.833$ , d.h. etwa so gross, wie die Norm SIA 160 den Lastfaktor für günstig wirkende Eigenlasten ansetzt.

Soll die Vorspannkraft höher, beispielsweise mit ihrem Kennwert eingesetzt werden ( $\gamma_P = 1.0$ ), sind weitere Überlegungen anzustellen bezüglich der Streuung der Kabelkräfte und dem Last-Verformungsverhalten bis zum Bruch.

Daneben muss selbstverständlich ein Nachweis mit der ungünstig wirkenden maximalen Vorspannkraft (nach Norm SIA 160  $\gamma_P = 1.2$ ) geführt werden.

Auf internationaler Ebene sind Normierungsbestrebungen im Rahmen des Eurocodes im Gang (EC 2, Teil 1 D). Man geht aber mit Recht eher behutsam ans Werk. In einem ersten Schritt sollten vor allem die Minimalstandards für die Kabel und mögliche und zu fordernde geometrische Toleranzen bei der Ausführung geregelt werden.

## Übrige Gefährdungsbilder

Wichtiger als ein Ausnutzen der letzten Prozente der Tragkapazität für Verkehrslasten ist die Analyse der übrigen Gefährdungsbilder. Im Gegensatz zu Schrägseilbrücken, deren Zugglieder auch für den Benutzer sichtbar sind, bleiben mutwillige oder fahrlässige Beschädigungen von Spannkabeln im Brückenkasten unter Umständen lange unentdeckt. Auch ein Brand im Kasteninnern hätte fatale Folgen. Deshalb müssen im Rahmen des Sicherheitsplanes folgende Fragen behandelt werden:

- Verhinderung des Zugangs Unbefugter
- Brandrisiko aus Brückenentwässerung
- Risiken aus Werkleitungen, die im Hohlkasten geführt werden.

## Ausblick

Die externe Vorspannung wird die konventionelle Vorspannung sicher nicht verdrängen, da zurzeit auch Anstrengungen unternommen werden, die Kontrollierbarkeit der Vorspannung mit Verbund zu verbessern. In der Tragwerkserhaltung wird sie jedoch noch vermehrt eingesetzt werden.

Die bevölkerungsreichen Agglomerationen des Fernen Ostens und der Dritten Welt werden in Zukunft industriell-

## Literatur

- [1] Buschmann, Thiele: Der Bau einer Saalebrücke aus Eisenbeton bei Alslieben. In: Beton u. Eisen, 28. Jhg. Heft 22, 20.11.1929, S. 405-409
- [2] Schönberg, M., Fichtner, F.: Die Adolf-Hitler-Brücke in Aue (Sa.). In: Die Bautechnik, 17. Jhg. Heft 8, 24.2.1939, S. 97-104
- [3] Dutoit, D.: Les récents développements de la précontrainte extérieure aux Etats-Unis In: SEBTP (ed.): La Précontrainte Extérieure. Paris 1993, p. 120-134
- [4] SETRA: External Prestressing, Bagnaux Cedex (F) 1990, p. 115 f
- [5] AFPC: Behaviour of external prestressing in structures. Tagungsband Saint-Rémy-Lès-Chevreuse (F), 1993
- [6] VSL International Ltd.: External Post-Tensioning. VSL Report Series 1, Bern, 1990

le Lösungen für die Viadukte der Nahverkehrssysteme benötigen. Dabei werden Bauverfahren, die mit externer Vorspannung kombinierbar sind (Segmentbauweise, Taktvorschub) bevorzugt werden. Sicher werden auch Verbundlösungen, die die Vorteile der Baustoffe Stahlbeton, Konstruktionsstahl und Vorspannstahl kombinieren, vermehrt Bedeutung erlangen.

Adresse des Verfassers: Prof. Thomas Vogel, Institut für Baustatik und Konstruktion (IBK), ETH Höggerberg, Gebäude HIL, 8093 Zürich

# Die Beobachtungsmethode

Eine Strategie zu wirtschaftlichem Bemessen im Grundbau

**Die Beobachtungsmethode beinhaltet eine Strategie zur Bemessung von Tragwerken bei im voraus fehlender Basisinformation. Da der Ingenieur im Grundbau sehr oft Bauwerke unter dieser Voraussetzung konzipieren und bemessen muss, hat die Beobachtungsmethode gerade für den Ingenieurgrundbau grosse Bedeutung. Die Beobachtungsmethode ist ein auf den klassischen Berechnungs- und Bemessungsverfahren basierendes dynamisch-fortschreitendes Bemessungskonzept.**

Vor rund 10 Jahren tauchte in der Fachliteratur im Zusammenhang mit der europäischen Normierung der Be-

grundbau hingewiesen. In der demnächst erscheinenden Euronorm ENV EC 7 «Geotechnical Design» ist die Beobachtungsmethode als Weg zur Bemessung von Grundbauwerken ausdrücklich erwähnt. Hinweise auf diese Methode finden sich aber auch in nationalen Normentwürfen, so zum Beispiel im Entwurf DIN 1054 «Sicherheitsnachweis im Erd- und Grundbau». Die Situation mag es daher gerechtfertigt erscheinen lassen, dass sich der geo-

technisch interessierte Ingenieur bereits heute mit der Beobachtungsmethode zu befassen beginnt.

Was beinhaltet nun aber diese Beobachtungsmethode? Grundsätzlich umschreibt sie eine Denkweise und regelt ein Bemessungskonzept, das dem fachkundigen Ingenieur schon längst vertraut ist. Mit der Kultivierung des Ingenieurschaffens, und als solche ist die heute verbreitete Normierung ja wohl zu verstehen, wurden bisher eher unreflektiert verwendete Begriffe mit konkreten, wohldefinierten Inhalten versehen. Man denke zum Beispiel an Ausdrücke wie Gefährdungsbild, Sicherheitsplan oder Qualitätssicherung; alles Begriffe, die auch für die Beobachtungsmethode Bedeutung haben. Im Zuge nach Versachlichung, Verständigung und Transparenz werden nun auch die Beobachtungsmethode und die damit erfasste Strategie zur wirtschaftlichen Bemessung von Tragwerken ordnungsmässig geregelt.

VON ULRICH VOLLENWEIDER,  
ZÜRICH

griff der Beobachtungsmethode auf. Seither wurde wiederholt in Fachbeiträgen auf die grosse Bedeutung dieser Methode für den Ingenieur-