

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 114 (1996)
Heft: 23

Artikel: Brückenverstärkung durch aussenliegende Vorspannung
Autor: Hofacker, Heinrich / Baumann, Karl
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-78984>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 04.02.2026

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

Türen gerüttelt, auch an jener der ETH. Ob die verschiedensten amerikanischen Rezepte, die den Hochschulen zugeschrieben werden, auf fruchtbaren Schweizer ETH-Boden fallen, wird noch zu diskutieren sein. Wenn die Donatoren häufig und die Vergabungen gross sein werden, könnte dies die Gespräche vereinfachen. Vorerst aber haben wir mit unseren selbsterarbeiteten Steuerfranken zu haushalten.

Nur ein intensiver Kontakt der ETH zur Wirtschaft bringt die notwendige Basis für ein klares gegenseitiges Verständnis und damit auch die Bereitschaft der Wirtschaft, die verschiedenen Disziplinen und Bereiche der Hochschule tatkräftig zu unterstützen. Diese Bereitschaft durfte ich in den vergangenen 15 Jahren auf eindrückliche Art erfahren.

Wie steht es um die Qualität der Lehre an der ETH? Aus dem Fachbereich des Bauingenieurwesens lässt sich feststellen, dass unsere Absolventen auch im Ausland gute Chancen für ihre Ingenieurtätigkeit haben. So wie die Bauingenieurfakultät haben auch andere Ingenieurdisziplinen der ETH sich in den letzten Jahren bemüht, ihre Studienpläne zukunftsgerichtet zu ge-

stalten. Um weiterhin gut ausgebildete Ingenieure in die Praxis zu entlassen, muss das Niveau unserer Lehre absolut erhalten und gewahrt bleiben. Der Trend, der sich im Bereich der Maturitätsausbildung abzeichnet, ist nicht dazu angetan, ein tragbares Fundament für den Einstieg in die Hochschule zu gewährleisten.

Zur Qualität der Lehre gehört aber auch die Qualität des Studienklimas. Es wird auch in Zukunft darum gehen, dass wir uns bemühen, ein solches zu schaffen, denn zur Substanz der ETH gehören positiv motivierte Studenten, die mit Elan und Freude das vorgegebene Studienpensum bis zum Abschluss bringen. Im Rahmen dieser Studien sind entsprechende Praktika motivationsfördernd. Ich möchte dazu das Beispiel eines sechsemestrigen Bauingenieur-Studenten erwähnen: "Es muss ein einmaliges Erlebnis sein, wenn man als angehender Ingenieur beim Durchschlag eines Bewässerungsstollens in Südafrika als erster der Schweizer Crew durch den Kopf der Tunnelbohrmaschine kriechen darf."

In der Bausparte haben wir zurzeit, und dies nicht erst seit gestern, eine Bi-

Literatur

[1]

Vitruv: Zehn Bücher über Architektur (De architectura) (verfasst 33-22 v. Chr.). Übers. von C. Fensterbusch, Darmstadt: Wiss. Buchgesellschaft, 1976.

[2]

Baukunst, in: Ch. L. Sieglitz (Hrsg.), Encyclopädie der bürgerlichen Baukunst, Leipzig: Fritsch, ab 1792.

senlage mit rauen Winden. Der Brotkorb wird allen höher gehängt. Durchblick und Weitblick sind gefragt. Das Baugeschenken wird sich nicht umfassend vor unserer Haustür abspielen, sondern weiter weg. Unsere jungen Ingenieure werden sich daher auch im Ausland bewähren müssen, wie dies eine ganze Anzahl bereits mit Erfolg getan hat.

Darum hat jeder von uns im Lehrkörper die Verpflichtung, die Studentinnen und Studenten so zu fördern, dass sie gewillt und fähig sind, Verantwortung zu übernehmen.

Adresse des Verfassers:

Prof. Dr.-Ing. E.h. Robert Fechtig, Institut für Bauplanung und Baubetrieb, ETH-Zürich

Heinrich Hofacker, Zürich, und Karl Baumann, Bonaduz

Brückenverstärkungen durch aussenliegende Vorspannung

Nach einer längeren Periode von Brückenneubauten kommt seit einigen Jahren im konstruktiven Ingenieurbau der Sanierung und Verstärkung bestehender Brückenobjekte eine immer grösser werdende Bedeutung zu. Die Vorspanntechnik, deren theoretische Aspekte nicht zuletzt dank langjährigen Forschungen an der ETH heute weitgehend abgeklärt sind, erhält dabei eine wichtige neue Funktion, und es erscheint reizvoll, die sich bietenden neuen statischen und konstruktiven Möglichkeiten aufzuzeigen.

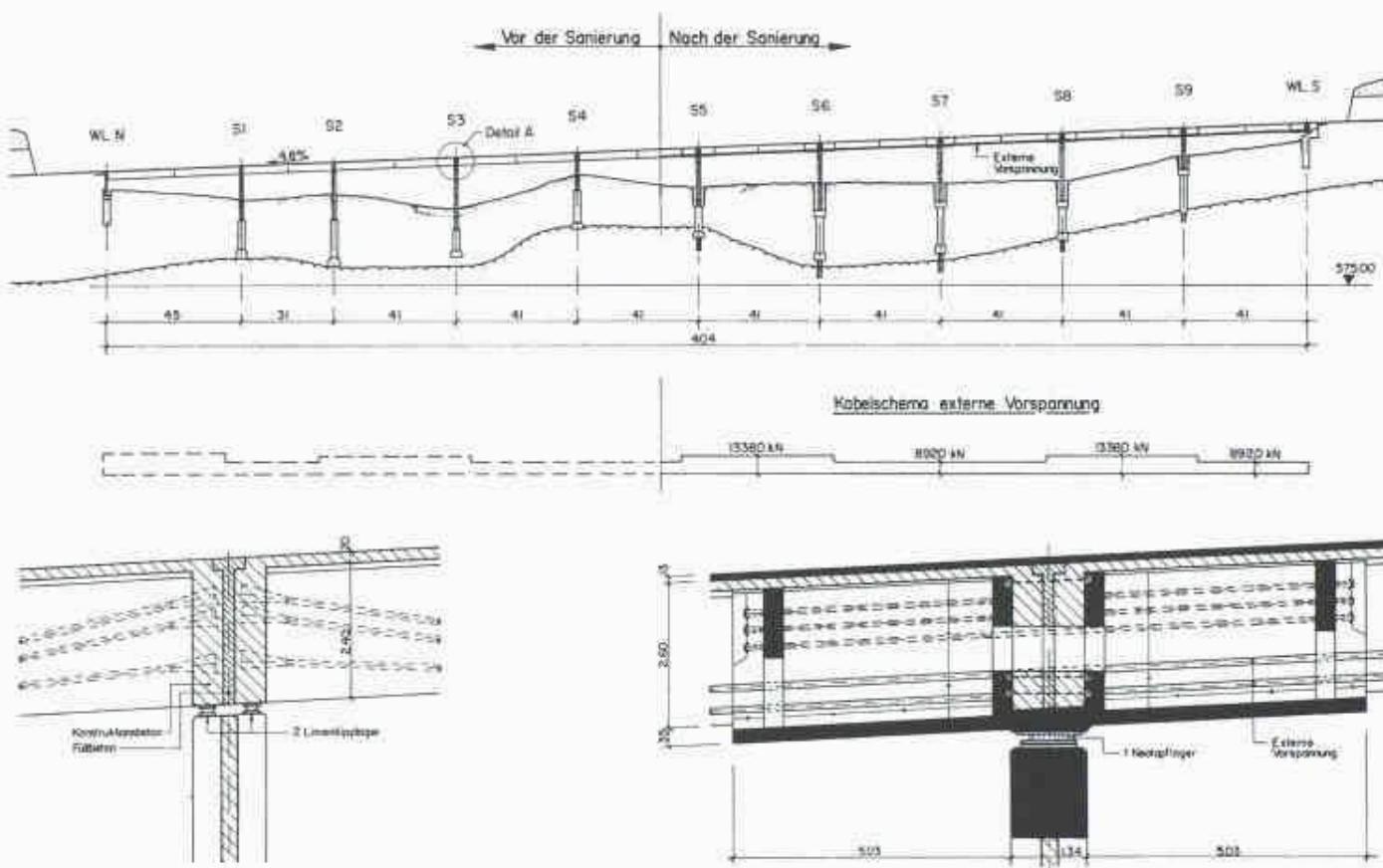
Bei Bauwerksverstärkungen stellt sich zuerst immer die Frage nach dem Zustand des bestehenden Tragwerks. Dabei muss einerseits die Baustoffqualität (Beton, Bewehrungsstahl, Spannstahl) möglichst zutreffend beurteilt werden. Andererseits sind örtliche Schwächungen wie Risse,

Korrosionserscheinungen usw. zu beachten und deren Einfluss auf das statische Tragverhalten zu quantifizieren. Zur Abklärung des Tragverhaltens des vorhandenen Bauwerks können vielfach mit Hilfe eines einfachen Belastungsversuchs zusätzliche Informationen gewonnen werden. Wird der gleiche Belastungsversuch am sanierten Tragwerk wiederholt, lässt sich zudem die Wirksamkeit der Verstärkungsmassnahmen überprüfen. Neben der vorhandenen Baustoffqualität und den festgestellten Schäden müssen die Kennwerte der zukünftigen Beanspruchungen festgelegt werden. Normalerweise werden den Sanierungsprojekten die Belastungen gemäß Norm SIA 160/89 zugrunde gelegt. Der Lastfaktor für die Eigenlasten γ_g kann allenfalls in Anlehnung an SIA 462 reduziert werden, da die Eigenlasten am Objekt überprüft werden können und demzufolge bekannt sind. Sobald eindeutige Klarheit über die Baustoffqualität, den Schädigungsgrad und die dem Tragwerk zu-

grunde gelegten Kenowerte der Belastungen besteht, kann die eigentliche Aufgabe der Tragwerkverstärkung gezielt an die Hand genommen werden. Das nachträgliche Anbringen einer externen Vorspannung stellt dabei ein Mittel dar, das bestehende Tragwerk zu verstärken und eignet sich besonders dann, wenn der Biegewiderstand über grössere Bereiche deutlich erhöht werden muss.

Erhöhung des Biegewiderstandes

Bei der Anordnung einer externen Vorspannung spielen nicht nur statische, sondern oftmals weit mehr konstruktive Überlegungen eine Rolle. Allein schon die Kabelgeometrie lässt sich nicht nur aus statischen Überlegungen festlegen (z.B. Entscheid Kabelverlauf polygonal oder gerade), sondern man muss auch Rücksicht auf das bestehende Objekt nehmen. Bei Verstärkungen vorhandener Tragwerke liegt das Schwergewicht auf der Erhöhung der Tragsicherheit, die Nachweise für die Gebrauchstauglichkeit müssen aber auch erbracht werden, bieten jedoch meist keine besonderen Probleme. Eine Ausnahme bilden Tragwerke, die infolge starker und anhaltender Verformungen oder Rissbildungen die Anforderungen an die



Sanierung Lehnenviadukt Höll der N2:

Längsschnitt (oben) und Stützendetails (unten
links alt, rechts saniert)

Gebrauchstauglichkeit nicht erfüllen. In der statischen Berechnung kann die Vorspannung entweder auf der Widerstandsseite oder als Wirkung von Anker-, Umlenk- und Reibungskräften auf der Lastseite berücksichtigt werden. Im Tragsicherheitsnachweis ergibt sich häufig die Situation, dass neben der schlaffen Bewehrung eine vorhandene Vorspannung mit injizierten Kabeln und einer externen Vorspannung zusammenwirken. Für diesen Fall eignet sich die erste Methode besser, da unter anderem das effektive Spannungsniveau in der vorhandenen Vorspannung nicht genau bekannt ist (Langzeitverluste). Der Biegewiderstand von Querschnitten, die zusätzlich mit einer externen Vorspannung verstärkt wurden, unterscheidet sich nur wenig vom konventionellen Fall mit Bewehrung und Vorspannung im Verbund:

$$M_p = A_s f_y z_s + A_p f_{py} z_p + A_{pex} \sigma_{pex} z_{pex}$$

- A_s Querschnittsfläche schlaffe Bewehrung
- f_y Fließspannung schlaffe Bewehrung
- z_s Hebelarm schlaffe Bewehrung
- A_p Querschnittsfläche Vorspannung im Verbund

f_{py} Fließspannung Vorspannung im Verbund

z_p Hebelarm Vorspannung im Verbund

A_{pex} Querschnittsfläche externe Vorspannung

σ_{pex} Spannungsniveau in externer Vorspannung zum Zeitpunkt $t = \infty$

Z_{pex} Hebelarm externe Vorspannung

In dieser Formel müssen die Ausdrücke σ_{pex} und z_{pex} besonders beachtet werden.

Wird die Spannung der externen Vorspannung im Bruchzustand mit σ_p berücksichtigt, so wird eine allfällige Spannungserhöhung in der externen Vorspannung vernachlässigt. Es gibt zwar Rechenmethoden, mit denen sich ein Spannungszuwachs nachweisen lässt, doch sind diese Methoden komplex, fehlerempfindlich und ergeben oft nur einen minimalen rechnerischen Spannungszuwachs. Die Summe der Spannungsverluste infolge von Schwinden, Kriechen, Relaxation und Reibung sind viel geringer als im Falle einer Vorspannung im Verbund (für ein neues Tragwerk). Die Schwindverformungen sind praktisch vollständig abgeklungen, die Kriechverformungen infolge der externen Vorspannung sind sehr gering und

die Reibungsverluste der externen Kabel sind ebenfalls weit kleiner als bei Verbundkabeln in Hüllrohren. Damit liegt die Spannung σ_{pex} in der Größenordnung von 95% σ_{pex} .

Der Hebelarm der externen Vorspannung muss durch konstruktive Massnahmen «erzwungen» werden. Im Falle von polygonalen Kabeln erfüllen die Umlenkonstruktionen die Aufgabe der Fixierung der Kabel in der gewünschten Lage. Werden die Kabel jedoch über eine Spannweite gerade geführt, so sind einzelne Fixierzvorrichtungen notwendig. Oft genügt dabei eine einzelne Fixierzvorrichtung in Feldmitte, um den gewünschten Effekt zu erzielen. Ohne Fixierung nimmt der Hebelarm z_{pex} im Bruchzustand infolge der sehr grossen Durchbiegungen im Feldbereich stark ab. Bei polygonal verlegten externen Vorspannkabeln ist des weiteren der Tragsicherheitsnachweis für das Gefährdungsbild «Minimale Auflast und maximale externe Vorspannkraft» zu erbringen. Dieser Nachweis lässt sich nur mit der Methode Anker- und Umlenkkräfte führen, wobei die Langzeitverluste der bestehenden Vorspannung im Verbund vorsichtig anzusetzen sind. Zudem muss berücksichtigt werden, dass die ständigen

Auflasten (Belag, Konsolköpfe usw.) nicht vorhanden sein können.

Das Hauptproblem bei Verstärkungen mit externer Vorspannung liegt eindeutig im Bereich der Krafteinleitungen. Die Krafteinleiterbereiche werden am besten mit Hilfe geeigneter Fachwerkmodelle bemessen. Die externen Vorspannkräfte werden vorzugsweise über neu zu betonierende, massive Querträger an den Brückenden direkt in die bestehende Konstruktion eingeleitet. Bei vorhandenen Trägern ist es nicht immer möglich, neue Querträger an den Brückenden auszubilden. In solchen Fällen muss die Kraft lisenenartig über Reibung zwischen altem und neuem Beton und oder Dübelwirkung in die Hauptträger eingeleitet werden (Beispiel Gessnerbrücke). Für solche Krafteinleitungspunkte ist der konstruktiven Gestaltung besonderes Augenmerk zu liefern. Wird die Vorspannkraft rechnerisch nur durch Reibung zwischen altem und neuem Beton übertragen, sollte die Schubspannung in der Reibungsfläche $\tau_R \leq 0.5 \text{ N/mm}^2$ (Bruchniveau) betragen. Auch in diesem Fall sollte jedoch auf eine konstruktive Verdübelung und eine allfällige Quervorspannung nicht verzichtet werden.

Erhöhung des Schubwiderstandes

Der Schubwiderstand von Balkenträgern wird gemäß den heutigen Normen mit Fachwerkmodellen nachgewiesen, wobei der Neigungswinkel der Druckdiagonalen in Abhängigkeit der Normalkraft zwischen etwa $\alpha = 25^\circ$ bis $\alpha = 60^\circ$ liegt. Bei vertikalen Schubbügeln schreibt sich der Schubwiderstand zu $V_u = A_s f_y z \cot \alpha / s$. A_s , f_y , z und s sind in einem vorhandenen Tragwerk gegeben. Die zusätzlichen Druckkräfte der externen Vorspannung führen zu einem flacheren

Neigungswinkel α , wodurch der Schubwiderstand leicht erhöht werden kann. Bei polygonal geführten externen Kabeln können die Schubwiderstände zusätzlich als Wirkung von Anker- und Umlenkkräften berücksichtigt werden. Einen Spezialfall der externen Vorspannung stellt die Schubverstärkung mit nachträglich angebrachten Zugstangen dar. Die Wirksamkeit dieser Verstärkungsmassnahme muss durch eine einwandfreie Krafteinleitung sichergestellt werden.

Konstruktive Besonderheiten

Damit die statische Wirksamkeit einer Brückenverstärkung mit aussenliegender Vorspannung über Jahre hinweg gewährleistet und überwacht werden kann, sind folgende konstruktive Probleme zu lösen:

- Zugänglichkeit zu den Kabeln
- Korrosionsschutz
- Langzeitmessungen
- Auswechselbarkeit der Kabel

Zugänglichkeit

Der grosse Vorzug freiliegender Kabel gegenüber den konventionellen einbetonierten Spannkabeln liegt darin, dass sie jederzeit kontrolliert werden können. Schadenszenarien, wie beispielsweise durch abgeschnittene Entlüftungsrohre ein dringendes Salzwasser ab Fahrbahnoberfläche direkt zu den Spannkabeln, wobei Korrosionserscheinungen erst spät und nur durch Aufspalten des Betons zutagetreten, dürfen im vorliegenden Fall ausgeschlossen werden. Für die Langzeitorwachung der Kabel ist es deshalb wichtig, dass die Zugänglichkeit sichergestellt wird, was bei einem Hohlkastenquerschnitt weniger aufwendig ist als bei einem unten offenen Brückenquerschnitt.

Korrosionsschutz

Die auf dem Markt erhältlichen Kabeltypen weisen je nach ihrem Aufbau

(Litzen oder Drähte) verschiedene Möglichkeiten des Korrosionsschutzes auf. Für eine spätere eventuelle Auswechselung eines Kabels bewährt sich Fett als umgebendes Medium der Litzen oder Drähte, wobei dem Temperatur- und Alterungsverhalten des Mediums Beachtung zu schenken ist. Außerdem ist zu überprüfen, ob der Korrosionsschutz konsequent bis zur Verankerung (und einschließlich dieser) ausgeführt ist.

Langzeitmessungen/Auswechselbarkeit

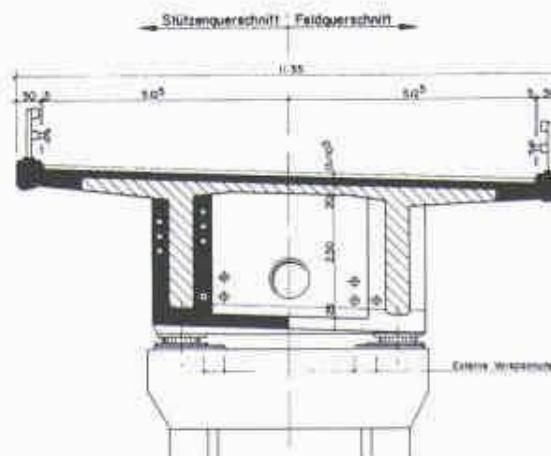
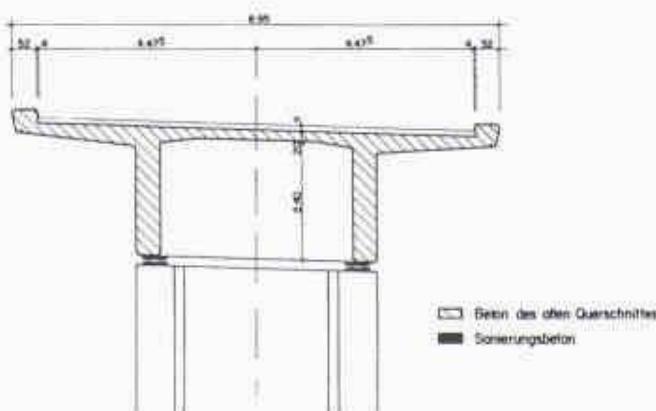
Der Bauherr hat ein legitimes Interesse an der Möglichkeit, später ein Kabel ersetzen zu können, oder zumindest den zeitlichen Verlauf eines eventuellen Spannkraftabfalls mit einfachen Mitteln zu messen. Dies ist bei der Gestaltung des Widerlagers und auch bei der Wahl des Spannsystems zu beachten. Beispielsweise ist bei langen Brücken ein genügender Überstand der Litzen über den Ankerkopf hinaus sicherzustellen.

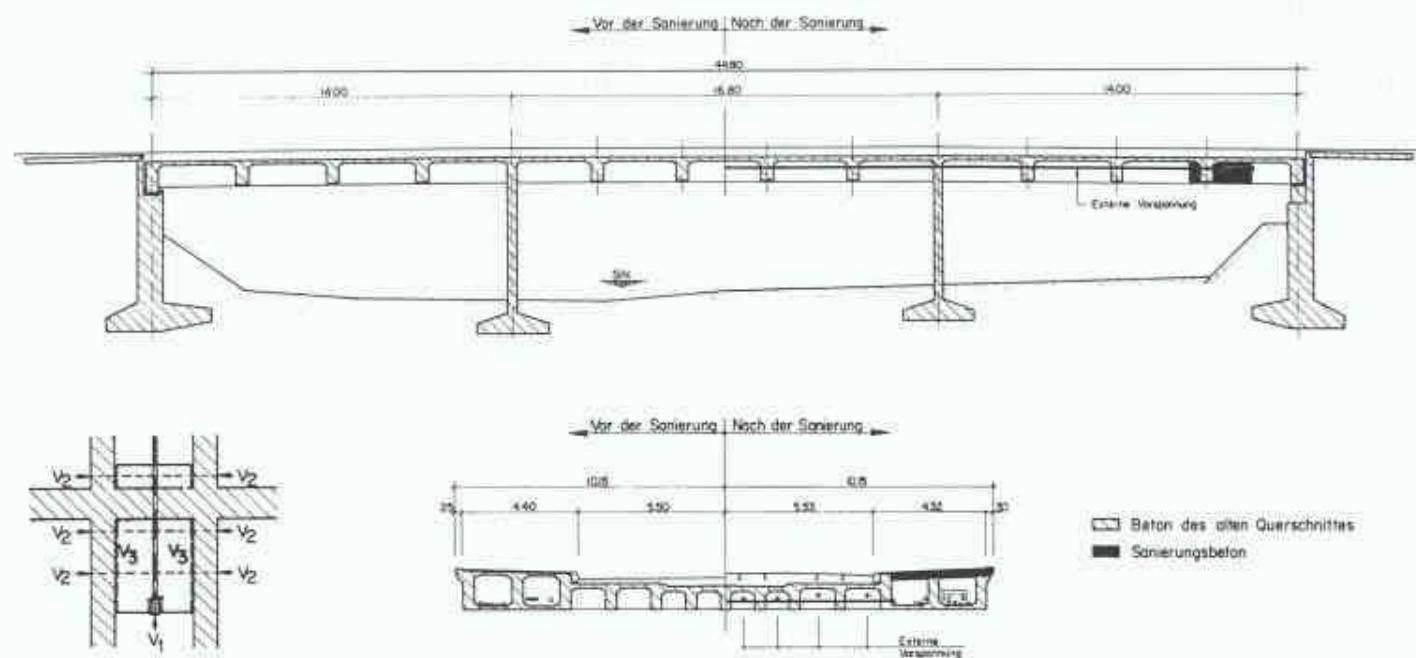
Zwei Anwendungsbeispiele

Sanierung Lehnenviadukt Höll

In den Jahren 1990 bis 1993 wurde der 1967 bis 1969 erstellte Lehnenviadukt Höll der N2 (Kanton Uri) einer umfassenden Sanierung unterzogen. Das ursprüngliche Bauwerk besitzt einen Plattenbalkenquerschnitt und besteht aus 10 Brückenfeldern von je rund 41 m Spannweite (1).

Im Bauzustand wurden die einzelnen Spannweiten als einfache Balken gelagert und für Eigengewicht, ständige Last und Verkehrslast voll vorgespannt. Wenige Wochen nach dem Vorspannen wurde der Zwischenraum je zweier benachbarter Spannweiten ausbetoniert und der Überbau zu einem Durchlaufsystem mit zwei Dilatationsfugen umgebaut, wobei die Abdeckung des negativen Momentes nur mit





V₁ = Externe Vorspannung
V₂ = Lokale Quervorspannung
V₃ = Verdübelung

3
Sanierung der Gessnerbrücke Zürich:
Längsschnitt (oben), Schema Krafeinleitung
(unten links) und Querschnitt (unten rechts)

schlaffer Bewehrung erfolgte. Die sehr hohe Vorspannung führte dann zu Zwängungen, so dass über den Stützen Risse auftraten und die Durchlaufwirkung teilweise verloren ging. Das ursprüngliche Fehlen einer Standspur auf der rund 400 m langen Brücke erwies sich zudem als betrieblicher Nachteil angesichts des stetig zunehmenden Verkehrsvolumens auf der N2, und führte zum Wunsch der Bauherrschaft nach Verbreiterung der Fahrbahnplatte (2).

Das Sanierungsprojekt des Lehnenviaduktes Höll umfasste insgesamt folgende Bauarbeiten:

- Sanierung der Längsträger
- Verbreiterung der Fahrbahnplatte
- Verstärkung der Fundationen als Folge des Mehrgewichtes des Überbaues
- Sanierung von Stützmauern und Betonschäden

Die Grundidee zur Sanierung des Überbaus bestand darin, die volle Durchlaufwirkung über den Stützen wiederherzustellen und das System zu einem fugenlosen Tragwerk umzubauen. Die Durchlaufwirkung wurde durch Umbetonieren und Vorspannen der Längsträger in den Stützbereichen erreicht. Infolge der relativ grossen Mehrlasten aus der Verbreiterung der Fahrbahnplatte mussten die Biegewiderstände im Bereich der Feldmitten ebenfalls deutlich erhöht werden. Die zweite Forderung konnte durch eine ex-

terne Vorspannung erfüllt werden. Die vier Hauptkabel der externen Vorspannung zu je $P_e = 2250 \text{ kN}$ sind hinter den Widerlagern verankert und verlaufen geradlinig über die ganze Länge des Tragwerks.

Sanierung Gessnerbrücke Zürich

Die heutige Gessnerbrücke über die Sihl stammt aus den Jahren 1932/33 und wurde als dreifeldrige Rahmenbrücke mit Plattenbalkenquerschnitt aus Eisenbeton erstellt (3). Infolge späterer Umbauten (Tramverlegung) vergrösserten sich die ständigen Lasten, so dass das Tragwerk im Fahrbahn- und Trambereich den heutigen Anforderungen der SIA-Normen bei weitem nicht mehr entspricht. Neben einer umfassenden Betonsanierung wurde das Tragwerk ohne Beeinträchtigung des Strassen- und Tramverkehrs auf der stark befahrenen Brücke statisch verstärkt. Die Sanierungs- und Verstärkungsarbeiten wurden 1995 durchgeführt.

Auch bei diesem Brückenbauwerk erwies sich die Anwendung einer aussenliegenden Vorspannung als sinnvoll und zweckmäßig. Im Bereich des Plattenbalkenquerschnittes (Tram- und Fahrbahnbereich) wurden geradlinig verlaufende Spannkabel eingebaut. Durch die Optimierung der Lage der Kabel im Querschnitt gelang es, die normengemässen Tragsicherheit des Bauwerkes in allen massgebenden Feld- und Stützenquer-

schnitten zu erreichen. Aus Kostengründen wurde die Vorspannkraft nicht hinter den Widerlagerquerschnitten, sondern hinter dem letzten Feldquerträger der Randsfelder eingeleitet, was ein sorgfältiges Überprüfen der Beanspruchungen im Verankerungsbereich (3) bedingte. Für die Verstärkungsarbeiten wurde ein durchgehender Gerüstboden unter der Brücke eingebaut, so dass die Arbeiten praktisch unbemerkt von der Öffentlichkeit abgewickelt werden konnten.

Zusammenfassung

Die Anwendung einer aussenliegenden Vorspannung zur Verstärkung bestehender Brückenbauten ist eine bewährte, der modernen Spannbetontechnologie entsprechende Möglichkeit zur Verlängerung der Lebensdauer von Tragwerken bei gleichzeitiger Steigerung der Lastkapazität. An zwei Beispielen von Brückenverstärkungen wird die Vielfalt der Anwendungsmöglichkeiten stellvertretend aufgezeigt.

Adresse der Verfasser:

Heinrich Hofacker, dipl. Ing. ETH/SIA/ASIC, Stücki Hofacker + Partner AG, Engweg 7, 8006 Zürich; Karl Braumann, dipl. Ing. ETH, Vignel 10, 7402 Bonaduz.