

Minimale Lagerung von langen Brücken dank torsionssteifem Überbau

Autor(en): **Favre, Renaud**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **90 (1972)**

Heft 10: **SIA-Heft, Nr. 2/1972: Brücken und Strassen**

PDF erstellt am: **17.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-85138>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Dass auch seine Bauwerke der Kritik unterzogen wurden, war ihm wohl bewusst; in echt Maillartscher Weise schrieb er mir in der letzten Zeit seines Schaffens am Jahresende darüber wie folgt: «Hier ein Bild meiner Brücke über die Lutschine bei Gündlischwand. Ebenfalls eine statisch unklare Brücke, denn der entwerfende Ingenieur hat «vergessen», bewegliche Auflager anzuordnen! E pur si muove; oder vielleicht auch nicht, trotz niedriger Temperaturen in der Gegend». Und er schloss seine Ausführungen mit dem Wunsche für ein möglichst «spannungsloses» Jahr!

Das Bild dieses Mannes wäre unvollkommen ohne einen, wenn auch nur knappen Hinweis auf den Menschen. Im Ausschuss der Gesellschaft ehemaliger Polytechniker war uns Gelegenheit geboten zu gemeinsamer Arbeit für die werdenden Berufskollegen. Wie setzte da der eher wortkarge Kollege sich stets mit Entschiedenheit dafür ein, wo er erkannte, dass Hülfe not tat und Würdigen gewährt werde, so bei der Schaffung des Praktikantendienstes an der ETH. Für die Jugend besass er warme Anteilnahme; umgekehrt freute ihn das grosse Vertrauen, das die junge Generation auch ihm entgegenbrachte. Eine bescheidene Feier zu seinen Ehren in der ETH,

veranstaltet von den «Freunden des neuen Bauens», versicherte ihm am 30. Oktober 1935, dass seine Lebensarbeit reiche Früchte trug; jener Abend war ihm eine innerliche Genug-tuung.

Nun, da der Mensch von uns gegangen ist, bleiben uns als sein Vermächtnis die Werke, die er geschaffen. Wenn recht viele unter uns in ehrlichem Willen den Weg zum Verständnis dieser Werke suchen, dann wird ein aus der langen Lebensarbeit erstandener Wunsch des Verstorbenen Erfüllung werden. Diesen Wunsch kleidete er in seinem letzten Vortrag vor einem grösseren Auditorium von Fachkollegen in die Worte: «Möge sich also der Ingenieur von den durch die Tradition der älteren Baustoffe gegebenen Formen lösen, um in voller Freiheit und mit dem Blick auf das Ganze die zweckmässigste Materialaus-nützung zu erzielen. Vielleicht erreichen wir dann, wie im Flugzeug- und Automobilbau, auch Schönes, einen neuen materialgemässen Stil. Dann könnte es eintreten, dass sich auch der Geschmack des Publikums derart abklärt, dass es die traditionsgemäss ausgebildeten Eisenbetonbrücken ähnlich beurteilt, wie die Automobile der Jahrhundertwende, deren Vorbild noch das Pferdefuhrwerk war.» H. Jenny-Dürst †

Minimale Lagerung von langen Brücken dank torsionssteifem Überbau

Von Renaud Favre, Zürich

DK 624.21.094 : 624.012.46

1. Einleitung

Gewöhnlich beurteilt man die Schlankheit einer Brücke mit dem Verhältnis Trägerhöhe zu Spannweite. Dieses Ver-hältnis kennzeichnet etwa die Wirkung auf einen Beob-achter, der die Brücke aus grosser Entfernung senkrecht zur Brückenachse betrachtet. Von allen anderen Standorten aus beeinflussen die im Quersinn angeordneten Stützen den Eindruck der Schlankheit, so dass das Verhältnis Spann-

weite zum Produkt aus Trägerhöhe mal Anzahl der Stützen im Quersinn eher dem Eindruck der Schlankheit gerecht werden dürfte. In Bild 1 sind zwei Brücken mit gleichem Verhältnis Trägerhöhe zu Spannweite skizziert. In der Per-spektive bewirken die verschiedenen Stützenanordnungen verschiedene Eindrücke der Schlankheit.

Da der Standort des Betrachters sich meist ungefähr auf der Höhe der Fahrbahn befindet, wirkt sich die Breite

Tabelle 1. Anordnungen der Lagerung bei langen Brücken

Lagerungsart	Grundriss	Querschnitt	Beispiele
1. Torsionseinspannung bei den Widerlagern (oder bei Brückenverzweigungen)			Auffahrts- und Abfahrtsrampen Brunau-Nord zur Sihlhochstrasse ($a_{\max} = 170$ m)
2. Torsionseinspannung in grösseren Abständen durch Doppelstützen			Ponts de la Bahyse ($a_{\max} = 216$ m) Auffahrtsrampe Sihlhölzli zur Sihlhochstrasse ($a_{\max} = 175$ m)
3. Elastische Torsionseinspannung bei Doppelbrücken durch Querträger oder Fahrbahnplatte			Normalquerschnitt Sihlhochstrasse (Länge rd. 1 km)
4. Anordnung der Stützen abwechselnd am äusseren Rand			Ponte della Foppa Grande [2] Projektstudie Bahyse (nicht ausgeführt)
5. Lager abwechselnd am Stützenkopf bzw. am Stützenfuss angeordnet			Überführungsbauwerk Lübeck-Siems [1] Projektstudie Auffahrtsrampe Sihlhölzli (nicht ausgeführt)
6. Oben und unten eingespannte Stützen			Autobahnzubringer in Kalifornien

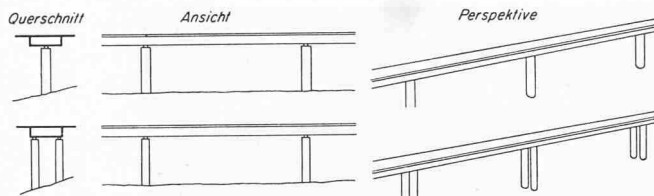


Bild 1. Zwei gleiche Brücken mit verschiedener Lagerung. Die Anordnung von zwei Stützen nebeneinander ergibt das Bild einer weniger schlanken Brückenkonstruktion als die Brücke mit nur je einer Stütze

der Brücke und der Gesichtspunkt, ob es sich um eine breite oder zwei getrennte, schmälere Brücken handelt, wenig auf das subjektive Empfinden «Schlankheit» aus. Auch breite Brücken oder Doppelbrücken wirken um so schlanker, je weniger Stützen im Quersinn angeordnet werden. Dieses Problem stellt sich besonders beim Bau von Autobahn- oder Expressstrassenbrücken, die vier bis sechs Fahrspuren aufzunehmen haben und beinahe so breit werden (20 bis 30 m) wie die Länge ihrer Spannweiten (aus wirtschaftlichen Gründen oft 30 bis 40 m).

Aber noch aus anderen, viel gewichtigeren Gründen, muss meist versucht werden, Brücken auf möglichst wenige Stützen abzustellen. In überbauten Gebieten dient der Platz unter den Brücken dem Zubringer- und Lokalverkehr, es werden Parkflächen angelegt (zum Beispiel Anschlussbauwerk Brunau-Nord, Zürich) oder andere Verkehrsträger nutzen diesen Raum, so dass Stützen unerwünscht sind. In Flussprofilen darf der Hochwasserabfluss nicht behindert werden, oder die Gefahr eines Rückstaues von Eisschollen an den Stützen (Sihlhochstrasse, Bilder 2, 3 und 4) muss vermieden werden. Bei schwierigen Fundamentsverhältnissen zwingt die Wirtschaftlichkeit oft dazu, mit wenigen Stützen auszukommen. Müssen die Fundationen beispielsweise als Schächte bis zu tragfähigeren Schichten in grosse Tiefen geführt werden, so sind die Kosten nicht mehr proportional der zu übertragenden Last, sondern eher der Anzahl der zu erstellenden Schächte (Beispiel Ponts de la Bahyse bei Grandvaux, Waadt, Bilder 5, 7 und 9).

Eine Beschränkung auf möglichst wenige Stützen erfordert einen entsprechend gestalteten Überbau. Die Probleme, die sich aus einer minimalen Lagerung mit wenigen Stützen (im Quersinn) ergeben, sollen hier näher betrachtet werden.

2. Lagerungsarten zum Erreichen kleiner Stützenzahlen

Ein Brückenquerschnitt als Hohlkasten weist eine grosse Torsionssteifigkeit auf. Dies führt zum Gedanken, den Überbau auf Torsion weniger oft zu unterstützen als auf Biegung, d. h. die Lagerung so zu wählen, dass die Stabilität nur dank der Torsionssteifigkeit gewährleistet wird. Die minimale Lagerung besteht dann beispielsweise in der Anordnung von nur einem Lager je Hohlkasten und einer zusätzlichen Torsionsstabilisierung. Die Lager müssen dann sowohl im Längssinn wie auch im Quersinn den Winkeldrehungen des Überbaues folgen; es können dafür nur allseitig kippbare Lager (Neotopflager) gewählt werden (Bild 7).

Nachfolgend werden einige Möglichkeiten für Stützen- bzw. Lageranordnungen mit wenigen Auflagerpunkten gezeigt. Die Beispiele sind meist Brückenprojekte und -ausführungen des Verfassers (Tabelle 1).

Bei der ersten Lagerungsart überträgt der Brückenhohlkasten die Torsionsmomente, die infolge ausmittiger Belastungen, Wind oder einer allfälligen Krümmung im

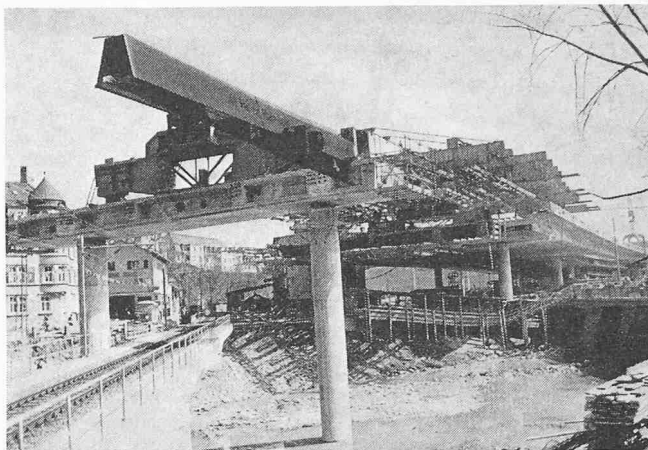


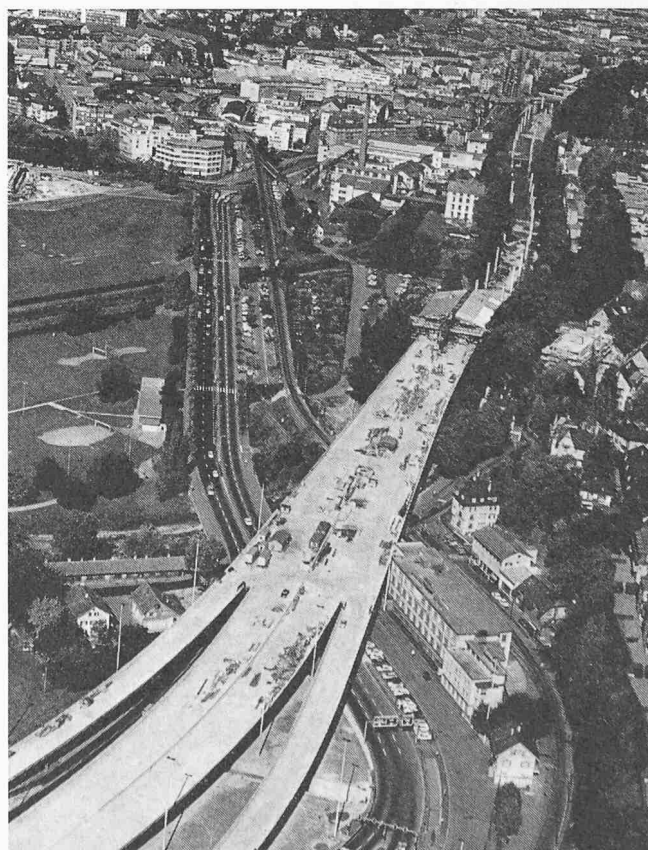
Bild 3. Bau der Sihlhochstrasse (N 3, Abschnitt N 3.4.2). Mit einem Vorschubgerüst wird der Brückenoberbau über die vorbereiteten Stützen vorgebaut

Grundriss entstehen, auf die Widerlager, wo sich die Torsionseinspannstellen befinden. Die grösste Brückenlänge bei diesem System dürfte bei etwas über 200 m liegen. Die Torsionsmomente, die mit der Länge linear zunehmen, würden sonst zu gross. Auch ist eine Grenze durch eine niedrige Verwindungssteifigkeit und dementsprechend durch eine zu kleine Eigenfrequenz gegeben.

Ist die Brückenlänge grösser als 200 m, kann die zweite Lagerungsart gewählt werden, bei der alle 100 bis 200 m

Bild 2. Die Sihlhochstrasse N 3, Abschnitt N 3.4.2, von Süden her gesehen. Im Vordergrund der Anschluss Brunau. Die Hochstrasse überfährt die Allmendstrasse und die Sihltalbahn. In der Mitte des Bildes die Baustelle des Brückenoberbaues. Es schliessen die vorbereiteten Pfeiler im Sihlbett an

(Photodienst Tiefbauamt Kanton Zürich, 5. Oktober 1971)



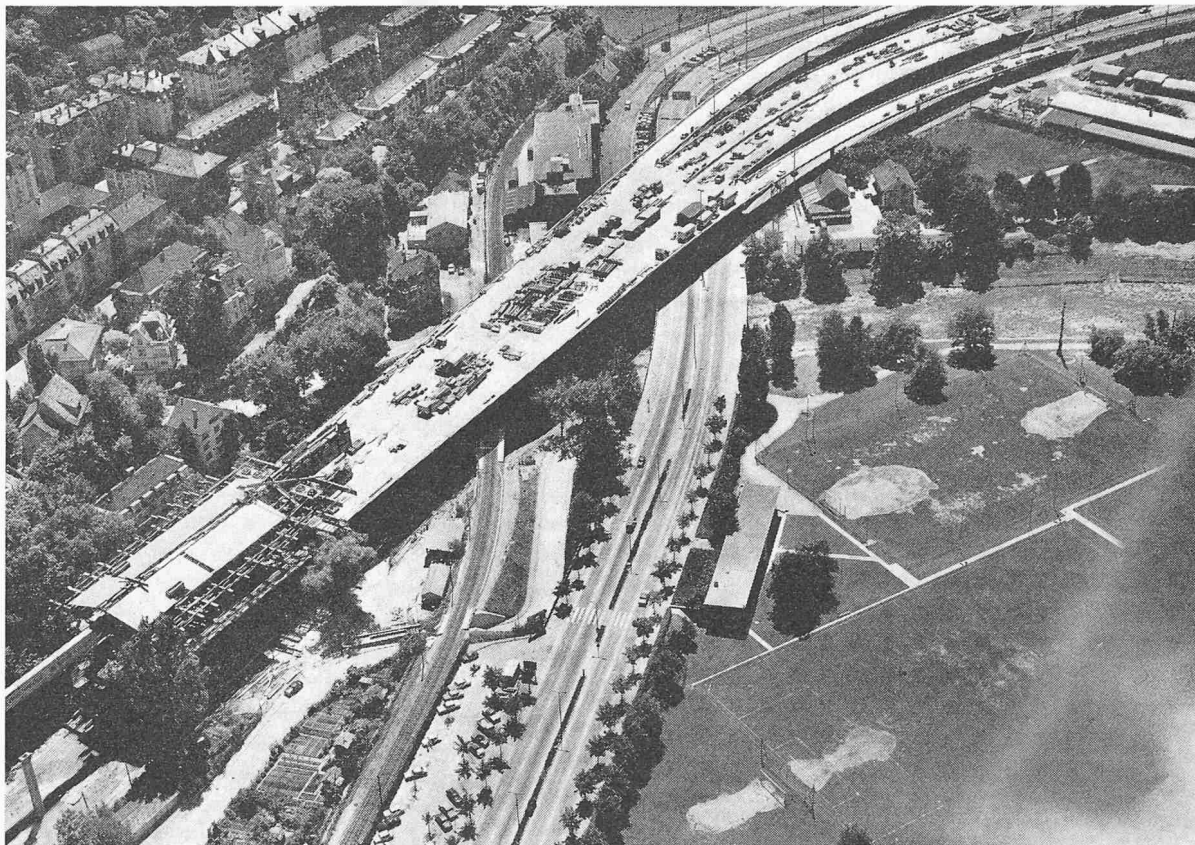
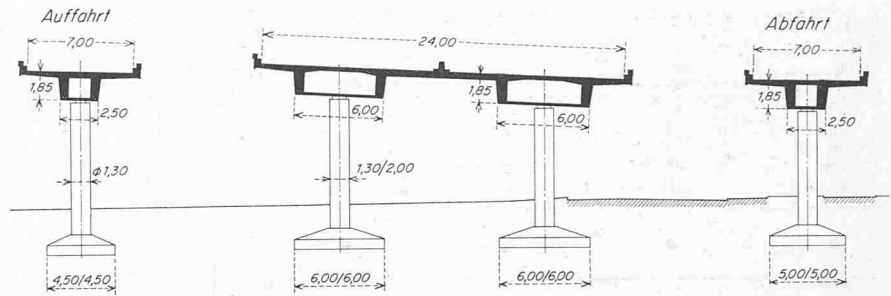


Bild 4. Sihlhochstrasse, Anschluss Brunau-Nord. Im Vordergrund links die Baustelle mit dem Vorschubgerät, Mitte Sihltalbahn und Allmendstrasse. Von Nordwesten gesehen
(Photo Comet, Zürich)

Bild 5. Ponts de la Bahyse zwischen Puidoux-Chexbres und Lausanne bei Grandvaux (Photo Germond, Lausanne, 1. Sept. 1971)



Bild 6. Schnitt durch die Sihlhochstrasse mit den Auf- und Abfahrten Brunau-Nord
Massstab 1:500



eine stabilisierende Doppelstütze angeordnet wird. Sofern jede Torsionseinspannstelle (Doppelstützen und Widerlager) als starr betrachtet werden kann, ist der Verlauf der Torsionsmomente übersichtlich. Die Momentenermittlung ist statisch bestimmt. Ein Torsionsfeld (zwischen zwei Doppelabstützungen) hat im Gegensatz zur Biegung keinen Einfluss auf die Torsionsmomente der Nachbarfelder. Da bei den Torsionseinspannstellen grosse Momente vom Hohlkasten auf die Doppelabstützungen abgegeben werden, sind diese in möglichst grossem seitlichen Abstand anzuordnen. Kann die notwendige Kippsicherheit der Brücke durch ein Auseinanderrücken nicht erreicht werden, so sind die Lager entweder vorzuspannen oder als Zug- und Drucklager auszubilden. Wenn unter den Gebrauchslasten stets noch eine Druckreserve auf dem Lager vorhanden ist, die Kippsicherheit aber nicht gewährleistet ist, so kann diese durch eine einfache, mitgleitende Zugstange erreicht werden. Die drei torsionserzeugenden Belastungen sind zu superponieren:

1. ausmittige Nutzlast,
2. Wind, bezogen auf Lagerhöhe,
3. Wirkungen einer allfälligen Krümmung im Grundriss.

Anstelle von 1. und 2. muss noch eine ausmittige Nutzlast von 700 kg/m^2 auf 100 m Brückenlänge berücksichtigt werden (siehe SIA-Norm 160, Ausgabe 1970, Seite 5, Art. 9, Ziffer 9.4a).

Wenn der Überbau beider Fahrrichtungen zu einer einzigen Brücke vereinigt wird, so wird die Querstabilisierung am einfachsten durch Querträger in Pfeilerachse erreicht (dritte Lagerungsart). Solche Querträger wirken unschön und beeinträchtigen den Arbeitsablauf bei Verwendung eines Vorschubgerüsts oder beim ausführungsbedingten Anbringen einer Längsfuge. Wird der Querträger weggelassen, hat die Fahrbahnplatte auf ihrer ganzen Länge – gewissermassen als verteilter Querträger – diese Funktion

zu übernehmen; sie verbindet die beiden Hohlkasten und spannt sie elastisch auf Torsion ein (Bild 6, Normalquerschnitt der Sihlhochstrasse, Zürich).

Die vierte Lagerungsart erscheint auf den ersten Blick als eleganteste räumlich stabile Lagerung, da die Brücke in kurzen Abständen immer wieder querstabilisiert wird und somit besondere Torsionseinspannungen entfallen [2]. Die Biegemomente infolge ausmittiger Belastungen werden hier aber sehr viel grösser, so dass diese Lagerungsanordnung nur dann günstig wird, wenn die Nutzlasten gegenüber dem Eigengewicht klein sind und vorwiegend zentrisch wirken. Dieser Fall ist beispielsweise bei einer Wasserkanalbrücke gegeben. Fällt die Resultierende aus einer ausmittigen Nutzlast in die Ebene einer Stützenreihe, so werden nur die Stützen dieser Reihe belastet, die Biegemomente werden somit mit einer doppelten Spannweite abgetragen (Bild 8).

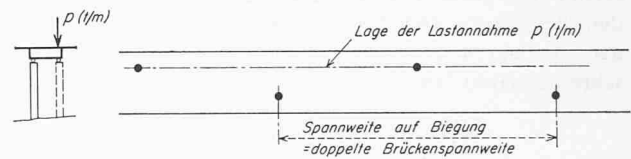


Bild 8. Anordnung der Stützen abwechselnd am äusseren Rand

Greift die Resultierende der Nutzlast noch exzentrischer, d. h. ausserhalb einer Stützenreihe an, wirken auf die Stützen der anderen Reihe Zugkräfte, die das Bauwerk zusätzlich auf Biegung beanspruchen. Abgesehen davon, dass die Biegemomente durch die Verdoppelung der Spannweite sehr gross werden, können sie je nach Lage der Nutzlast verschiedene Vorzeichen haben, was besonders bei vorgespannten Brücken unerwünscht ist.

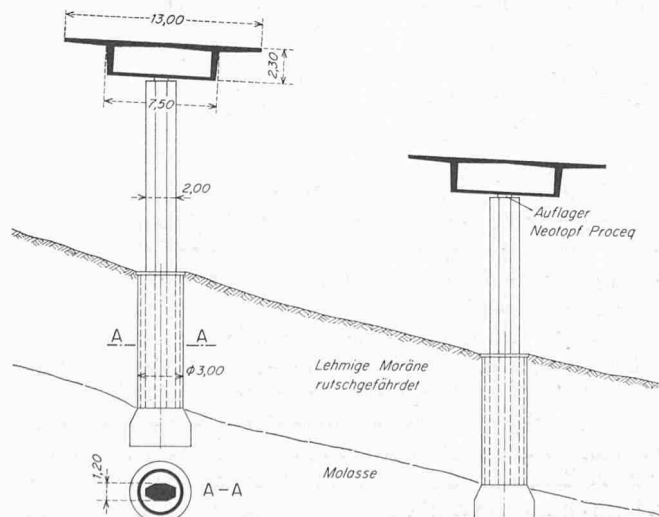
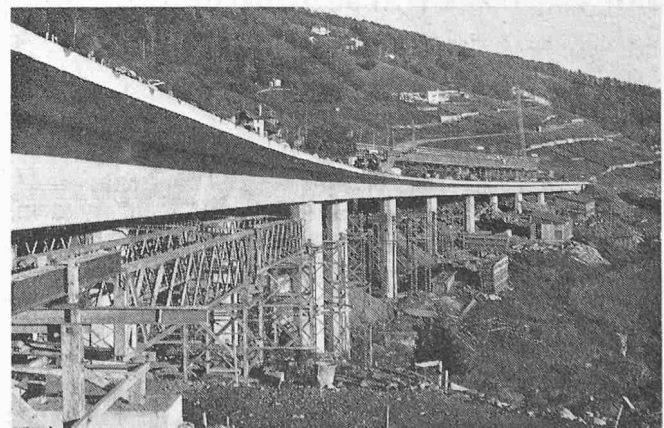


Bild 7. Normalschnitt 1:500 durch die Ponts de la Bahyse

Bild 9. Ponts de la Bahyse (Photo Germond, Lausanne)



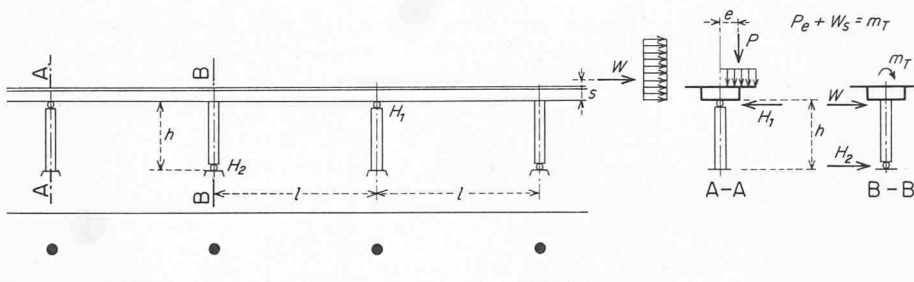


Bild 10. Lager abwechselungsweise am Kopf oder am Fuss der Stützen
 W = Windkraft pro m Brücke (konstant)
 P = Nutzlast pro m Brücke (konstant)
 m_T = angreifendes Torsionsmoment pro m Brücke (konstant)

Bei der fünften Lagerungsart wird von der Überlegung ausgegangen, dass das abwechselungsweise Anbringen eines Lagers am Stützenkopf bzw. Stützenfuss verschiedene Verdrehungsmittelpunkte für den Überbau schafft, weshalb bei entsprechend biegesteifen Stützen eine Verdrehung nicht möglich, die Brücke also stabil gelagert ist.

In Verbindung mit der ersten Lagerungsart kann diese fünfte Art die Torsionsmomente wesentlich verkleinern. Als Beispiel einer solchen Kombination sei das Überführungsbauwerk Lübeck-Siems angeführt [1]. Im allgemeinen Fall ist das Problem statisch unbestimmt. Die überzähligen Horizontalquerreaktionen in den Lagern sind abhängig von der Steifigkeit des Überbaus und der Stützen.

Um die Vorstellung von der fünften Lagerungsart zu erleichtern, wird ein unendlich langer, durchlaufender Balken betrachtet. Er habe immer gleiche Spannweiten und gleiche Pfeilerabmessungen. Die auf ganzer Länge angreifenden Horizontalkräfte (Wind) und Torsionsmomente (Wind und ausmittige Nutzlast) seien konstant. Aus Gründen der Symmetrie lassen sich die Horizontalkräfte bei den Auflagern auf folgende statisch bestimmte Art anschreiben (Bild 10)

$$H_1 - H_2 = W \cdot 2l$$

$$H_2 \cdot h = m_T \cdot 2l$$

daraus folgt:

$$H_1 = 2l (W + m_T / h)$$

$$H_2 = 2l m_T / h$$

Betragen $W = 0,7 \text{ t/m}$, $m_T = 7 \text{ mt}$, $h = 10 \text{ m}$, und die Spannweite $l \text{ m}$, so ergibt sich: $H_1 = l \cdot 2,8 \text{ t}$ und $H_2 = l \cdot 1,4 \text{ t}$. Die Horizontalkraft bei der ersten Lagerungsart würde pro Lagerachse nur $H = Wl = l \cdot 0,7 \text{ t}$ betragen. Dieser Vergleich zeigt, dass die Pfeilerbeanspruchung hier auf das Zweifache bzw. Vierfache anwachsen kann. Diese Lösung wird stets auf die Schwierigkeit stossen, dass die Pfeilerabmessungen im Quersinn wegen dieser Momente sehr gross gewählt werden müssen. Es können sich Querscheiben von 3 bis 4 m Breite ergeben. Bei solchen Abmes-

sungen ist aber bereits das Anbringen von zwei Lagern am Stützenkopf und ein übliches Abtragen der Torsionsmomente durch die Pfeilerscheibe möglich.

Die sechste Lagerungsart ist konstruktiv am einfachsten, sie benötigt keine Lager. Sie ist aber nur möglich, wenn die Momente aus den Längs-Bewegungen und -Verdrehungen der Brücke im Pfeiler nicht zu hoch werden. Voraussetzung für diese Lösung sind nicht zu lange Dilatationsabschnitte, kleine Schwindverkürzungen (zum Beispiel durch Anbringen von provisorischen Fugen), kleine Vorspannung. Allenfalls müssen die Stützenköpfe in Gegenrichtung zu den nachträglich auftretenden Schwind- und Kriechverkürzungen des Oberbaues voreingestellt werden. In den USA, wo Massivbrücken häufig nicht vorgespannt sind, werden Auffahrts- und Abfahrtsrampen zu Autobahnen oft mit oben und unten eingespannten Stützen gebaut. Hier kommt also das Wegfallen der Verkürzungen aus der Vorspannung der Lagerung zugute.

Die in Tabelle 1 aufgeführten Lagerungen 1, 2 und 3 führen häufig zu in jeder Beziehung befriedigenden Lösungen. Die Lagerungsmöglichkeiten 4 und 5 werden nur ausnahmsweise in Frage kommen. Die sechste Art wurde früher häufig angewandt.

Ausführende Firmen der erwähnten Bauwerke:

- Brunau-Nord, Zürich: Brunner's Erben & Co
- Sihlhochstrasse, Zürich: Arbeitsgemeinschaft Sihlhochstrasse, H. Hatt-Haller, Schafir & Mugglin, Spaltenstein
- Ponts de la Bahyse, Waadtland: Entreprise P. Chapuisat, Lausanne.

Literaturverzeichnis

- [1] R. Hunold: Überführungsbauwerk Lübeck-Siems. «Beton- und Stahlbetonbau», H. 4, April 1968, S. 73-77.
- [2] Dr. G. Lombardi: Il Ponte della Foppa Grande. «Strasse und Verkehr», H. 12, 1971, S. 634.

Adresse des Verfassers: Renaud Favre, dipl. Ing. ETH, Ingenieurbüro Schalcher und Favre, 8053 Zürich, Witikonstrasse 295.

Zur Expressstrassenführung durch Zürich

DK 711.7

Von J. Killer, Baden

Für einen Aussenstehenden ist es schwer verständlich, dass sich eine Diskussion um die Führung der Expressstrassen, genannt Ypsilon, in einem Zeitpunkt entfacht, wo bereits mit dem Bau von einzelnen Teilstücken begonnen worden ist.

Das noch nicht endgültig projektierte Zwischenstück für den Zusammenschluss der beiden Äste der N 1 und den Anschluss der N 3 weist eine Länge von 5 km auf. Die ersten Vorschläge für diese Strassenführung waren schon vor bald 20 Jahren in den veröffentlichten Generalverkehrsplänen festgelegt worden. Die schon damals vorgesehene Führung der Expressstrassen in Zürich drängt sich infolge der topographischen Verhältnisse der Stadt geradezu auf.

Es wird manchmal auf den äusseren Autobahnring hingewiesen, der die Verkehrsverteilung übernehmen soll. Doch dieser liegt mit einem mittleren Durchmesser von 10 km (bei einer Länge von etwa 40 km) so weit vom Zentrum entfernt, dass er nur einen Teil des eigentlichen Stadtverkehrs übernehmen kann. Würde das Ypsilon nicht gebaut, so müsste an seiner Stelle ein anderes innerstädtisches Verkehrssystem – wahrscheinlich ein kostspieligeres – erstellt werden.

Dies zeigen deutlich die Autobahn- und Expressstrassensysteme anderer Städte. In Berlin baute man schon vor 30 Jahren den äusseren Ring. Dieser kann heute seine Funktion, zum Teil aus politischen Gründen, gar nicht ausüben. Seit