

Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht

Band: 9 (1972)

Rubrik: Theme IV: Interrelation between design and methods of construction for
elevated highways and viaducts

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: 05.04.2026

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

Interrelation between Design and Methods of Construction for Elevated Highways

Influences réciproques entre le projet et les méthodes d'exécution pour les routes surélevées

Wechselbeziehung von Entwurf und Baumethoden bei Hochstraßen

B.W. VAN DER VLUGT
Netherlands

Introduction.

This paper deals with the interaction between design and execution of elevated motor roads, i.e. flyovers, approach-spans to large river-crossings and viaducts constructed alongside steep slopes. River- and valley-crossings are not taken into consideration; the scope of the paper covers types of span construction up to 50 m. approximately.

New developments which do not have a direct bearing on the above-mentioned interaction, such as lightweight concrete and stress-ribbon bridges, are not taken into consideration. Attention is paid not only to the technical aspects of the subject, but also to the process itself.

The Interaction Process.

The relation and interaction between design and execution, and the development which results therefrom, cannot be seen in its own light.

In order to assess the process properly, other factors should be taken into consideration, too.

The design stems from a set of basic requirements - purely functional as well as esthetical - to be embodied in a design, in which consideration must be paid to realization (technology), local conditions (situation) and economy.

The execution is the economic realization of the design with the aid of human labour, mechanical techniques and organisation.

Additional external factors, which also influence the design and execution are:

In the case of the design:

1. functional criteria: traffic requirements, such as less expansion joints, column flyovers, road-surface-heating and the like, and shorter construction periods.

2. esthetical criteria: for instance, closed underside of the superstructure of a small number of box girders instead of a large number of ordinary girders.
 3. new safety conceptions and new calculation possibilities.
 4. more know-how concerning the materials and their interaction.
 5. new materials: for instance, lightweight concrete, epoxy resins.
- and finally the execution:

In the case of the execution:

1. the design and
2. the development of execution techniques, e.g. development of lifting equipment and jacks, sliding shuttering.
3. economic developments, e.g. the relatively high increase in wages.
4. organisational and administrative developments: critical path method, a more detailed insight in the actual costs thanks to automation of the administration.

The relation and interaction between design and execution is part of the continuous process brought about by new requirements, dictated by clients and society in general, and by new possibilities created by research and developments in other industries. This results in new initiatives in the field of design and execution, as well as a continuous feedback from execution to design and from design and execution to all external influences.

For the sake of clarity, please note that when we speak of design and execution, that does not mean the dividing line between, on the one hand, the consulting engineer and the client's design-office and, on the other hand, the contractor.

The contractor's design-office comes under the heading of design; a resident engineer on the site comes under the heading of execution.

It is also possible for one and the same person to interchange the duties of designing and executing.

In order to understand the proper meaning of the process, it is important that there should be no doubt as to who comes under the respective headings of designer and executor.

A good development in the process of building is possible only when the interaction between all the groups engaged in carrying out the various tasks is at its very best. In the case of interaction between design and execution this means that the intentions of the designer should be absolutely clear to the executor, and that the desires of the executor are also clear to the designer.

If we consider the implications of this for just one project, then we see that the first of the two lastmentioned conditions is reasonably assured of success thanks to drawings and specifications, supervision and regular meetings. The feedback is usually not so definite and decided: this is usually left to the discretion of a few individuals. It is by no means certain that, in particular, the organisational problems and experiences ever achieve the proper feedback to the designers. In view of the necessity for an effective interaction there is a lot to be said for a feedback at the end of the execution, which is in proportion to the information contained in drawings and specifications at the beginning of the execution. This feedback could take the form of a report by the

executors, containing criticism of the design and suggestions for improvements.

Further to the on-the-spot interactions between designers and executors there is also the more broad interaction in the form of publications, lectures, excursions, congresses, etc. Here also, however, much more attention is paid to the design as such than to the evaluation of the design based on the experiences gained during the execution.

Consequently it is my firm belief that, for an effective development, much more attention should be paid to the feedback from execution to design.

The first actual interaction that takes place is that between the criteria which bind the designer, and his knowledge of the execution possibilities. During the design he should continually bear in mind a way in which the project can be executed, both technically and organisationally, and develop his design accordingly.

It is desirable that, for each project which deviates from the normal run of things, the designer keep a continual check on the effects of his design on the execution with the aid of schematic drawings of the set-up of the building-site, of special equipment and of various phases of the execution, and by means of network planning.

This information could be given to the contractors together with the specifications as a motivation for the design.

Criteria.

In the development of modern methods of execution the investment in special equipment plays an important part. This investment may run to several £ 100.000.

Such sums cannot usually be accounted for in one single project. This prompts the question, as to whether it would not be possible to arrive at standard types of bridges with fixed dimensions for the purpose of ensuring reasonable use of new equipment, which has been developed for a specific type of bridge with standardized spans, pier-shapes, widths and skewness.

It has been found that the variation in local circumstances and requirements have, as well as the increase in traffic requirements, hitherto proved an obstacle to genuine standardization.

Only in the case of factory-made bridge girders, spanning up to 25 m., has it been possible to achieve standardization. This, however, only has a bearing on part of the construction.

This means that in the development of new systems of execution the most flexible of possibilities should be considered with respect to the investments, bearing in mind the various criteria.

These criteria are partly functional and partly esthetical.

Hereunder an attempt has been made at a summation of criteria that could be of importance.

A. Functional:

1. possibility of horizontal and vertical curves.
2. possibility of widening for acceleration- and deceleration lanes, and connections to sliproads.
3. flexibility in the positioning and shaping of piers.

4. few expansion-joints in the road surface.
5. simple solutions for water drainage, fastening of guardrails and lamp posts, etc.
6. a monolithic joint between 2 bridge-halves providing flexibility of road-division.
7. small construction depth.
8. in countries with heavy snow-fall, protection against spraying salts.
9. crash-proof piers and underside of superstructure.
10. minimum hindrance to traffic passing under flyover during construction.
11. quick execution.
12. independence of soil conditions between piers.
13. possibility of widening bridge.
14. possibility of dismantling bridge.
15. economy.

B. Esthetical.

1. simplicity: visible constructive and functional design.
2. slenderness.
3. in the case of long flyovers, a straight underside with the exception of a strengthened part above the pier (which part has a limited width).
4. no capping-beams on the piers.

The degree of importance attached to the various criteria is, of course, not always the same. Furthermore, the increase in traffic volume gives an associated increase in new criteria to be considered.

The problem of noise, for instance, is receiving ever-increasing attention. Up to now it has been possible to solve this problem to any extent only in the case of rail transport.

The development of various systems of execution is based on the following motives.

1. reduction of the number of manhours on the building-site, in particular, in the case of formwork and scaffolding.
2. agreement with the demands that hindrance to traffic under the viaducts be kept at a minimum.
3. independence of soil conditions between piers.
4. in the case of approach-spans to large river-crossings, independence of high waterlevels.

The different motives in points 2,3 and 4 usually lead to the same result.

Motive No. 1 will usually be of a financial nature. Generally speaking, preference is given to a modern system of execution if this is cheaper.

In some cases, however, it is necessary to use labour-saving methods, even though they may be more expensive, as the number of labourers, necessary for a more traditional labour-consuming system of execution within the time prescribed, is not available.

This is becoming a present trend in industrialized countries.

An important organizational advantage attached to a modern system of execution as opposed to a traditional system is that there is a better and more constant distribution of man-power on the site.

Furthermore, there is also a more constant succession of identical activities, whereby the advantage of series production is utilized more fully. It is well known that the number of manhours in the case of large series production is reduced by more than 50% as compared to single production.

In order to get the full benefit from the organizational advantages, it is necessary that they be incorporated in detail in the design:

This means:

1. where possible, equal spans.
2. all recesses and all fittings to be cast in the concrete for the purpose of water drainage, lighting, etc., must have exactly the same position in the segment in the case of segmental construction.
3. the design of the connections to the slip-roads should be such that there will be no hindrance to construction progress on the main viaduct.

Some Methods of Execution.

In the course of time the following systems of execution have been developed:

1. cast-in-place span-by-span construction with the aid of on-the-ground, moveable scaffolding.
2. cast-in-place span-by-span construction with the aid of suspended, self-launching formwork carrier.
3. cast-in-place segmental cantilever construction.
4. prefabricated beams.
5. precast segmental construction supported by scaffolding.
6. precast segmental cantilever construction.
7. self-launching piecemeal system (German "Taktschiebeverfahren")

The first of these methods deviates least from the traditional construction system. The only difference is that the scaffolding is displaced in a more efficient way. The extra costs incurred by transport equipment, rails, jacks and additional steel construction can be turned to economical advantage, beyond a certain length of viaduct. Witfoht mentions 300 m. as being the minimum length, on condition that the overall cross-section is constant. If the length of the viaduct is less than 300 m., then it can be divided in two parts by a longitudinal joint, the same scaffolding being used for both bridge parts. A condition which has to be taken into account when making the design is that the position of the columns be such that the scaffolding has room to pass, which condition is in agreement with the requirements of the client. Furthermore, it should always be possible to detach the formwork in its entirety in order to benefit from the rapid displacement of the formwork. One span can be cast every 2-3 weeks with the aid of one scaffolding.

The second system has the advantage that it is independent of the rail and terrain conditions, which is important in the case of viaducts alongside steep slopes, and for high viaducts. In this system we make a distinction between two constructions with respect to the statical system.

In both cases casting is done span by span, but in the first case the superstructure is freely supported by the piers, obviating the use of expansion joints, in the second case the superstructure is monolithically connected to the piers, necessitating the use of expansion joints.

Various types of superstructure are possible: box-girders (Kranenberg bridge, Fed.Rep. of Germany; Roquebrune Motorroad, France); Mushroom bridges (Brenner Motorroad, Austria; Elztal viaduct, Fed.Rep. of Germany) and Tee-beams (Lennetal viaduct, Fed.Rep. of Germany).

The launching of the carrier is effected according to the slide-rule principle: first, a launching girder is launched on to the pier, followed by the formwork carrier and the formwork. A span can be cast every two weeks or even less. The minimum radius of horizontal curvature is about 400 m. In the system developed by Dycherhoff & Widmann, the launching and carrying girders move above the superstructure, and the formwork is carried during transport by arms, which encompass the superstructure. These arms also serve as framework for a casting-place housing, so that the work is independent of inclement weather conditions.

The third system is used more in the case of spans, longer than 50 m., where a formwork carrier for the span-by-span construction is too heavy and too expensive. Although the majority of the applications of the system concern river- and valley-crossings, some of these applications can be considered as elevated highroads, such as the Zoo-bridge in Cologne and the Shibuya viaduct in Tokio.

Three methods of execution are possible:

1. on both sides of the pier cantilevers are erected segment by segment up to mid-span with the aid of cantilever trucks, during which equilibrium is attained either by fixation to the pier or by means of auxiliary trestles near the pier.
2. a cantilever is erected segment by segment from one side to the next pier during which the great negative bending moment is temporarily sustained by a pylon with stay-cables or by auxiliary trestles. Whilst in the first case the most economical solution is provided by a haunched underside, in the second case a straight underside is preferred.
3. the first of the last two methods, but with the addition of an auxiliary bridge up to a length of one and a half spans. The purpose of this auxiliary bridge is:
suspension of the cantilever formwork and the last cast segment.
maintaining balance.
transport to the next pier.

The prefabrication of girders is so old that the principle thereof needs no further description. However, the development is not always consistent although, generally speaking, it is easy to distinguish a trend towards simplicity in the execution.

At the beginning of the development most designs were primarily based on a saving of material, for instance, by means of continuity in construction obtained with the aid of continuity prestressing. This method has been almost discarded as a result of labour-consuming activities.

The continuity in girders with spans up to 25 m. (factory girders) is usually obtained by means of normal reinforcements. In the case of large spans the construction is kept statically determined. Neither does the execution take kindly to diaphragms.

An interesting example of the trend towards eliminating the problems presented by diaphragms is displayed by the Battignolles viaduct, in the Boulevard Péripherique, Paris. Here there are no intermediate diaphragms, and the end diaphragms are cast after the deck formwork has passed by.

Several countries, however, seem to differ as to the lengths to which this simplification can be taken. Whilst in the Netherlands the inverted T-beams are usually used only with a cast-in-place top layer, in England preference is given to a combination of a cast-in-place layer on the bottom flanges, and a cast-in-place top layer. It would be interesting to make an accurate comparison between the various advantages and disadvantages of both systems. Other formwork-saving methods in which a good load distribution occurs are the German face-matching joint system and the "top-head" beams with gap-free bottom flanges such as applied in section b of the Western Avenue Extension in London.

Precast girders present a problem when the piers have to be given the form of columns because the girders have to be supported over the whole width of the viaduct. By providing the girders with tooth-shaped ends, it is possible to reduce the depth of the projecting part of a capping-beam.

A good solution is also provided here by the application of preflex girders, as used in the Bijlmermeer viaducts, Amsterdam.

If one wishes to have one central column, then usually the part of the deck above the piers is made as a cast-in-place table plate, monolithically connected to the piers. This leads to a slender construction, whilst differences in length due to either variation in span or to horizontal curvature can be accommodated in the table plate.

The prefabrication of segmental box-sections erected on scaffolding has become very popular in England since the construction of the Hammersmith flyover. The prefabrication renders possible the solution of complicated cross-sections. The most advanced realization up to now is section 5 of the Western Avenue Extension - a box-girder with deeply slanted walls, as a result of which it was possible to support the 28,5 m. wide road on one central column in an elegant way. The weight of one element - 137 tons - indicates that for the time being the possibilities have been stretched to the limit. The segments may be erected

on scaffolding or suspended from a gantry.

A combination of the precast segmental construction on scaffolding and the cast-in-place cantilever construction is the precast segmental cantilever construction with glued face-matching joints, rendered possible by the introduction of epoxy resins. Two production methods of the segments are possible.

1. the segments are cast end-to-end on a bench, the length of which is at least half a span.
2. the segments are cast in a stationary position and displaced in a longitudinal direction to be used as end form to its mate.

All details, such as anchorages, shear keys, etc., must be as equal as possible for all segments. This also holds good to a certain extent for the overall dimensions of the section, but here other considerations have to be taken into account such as the required quantities of prestressing steel and concrete. Although the construction at mid-span is made continuous, a haunched underside during the cantilever construction would seem the most obvious solution.

However in the case of medium-sized spans (≤ 60 m.?) the straight underside will be more economical as a result of the possibility to keep the mould constant.

Erection takes place by means of a self-launching auxiliary bridge or by means of a crane or derricks on top of the structure.

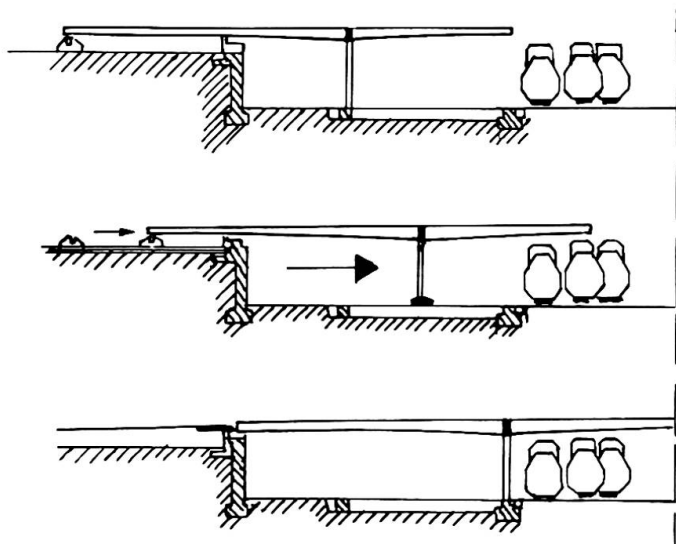
As opposed to the cast-in-place cantilever construction, the advantage is the higher speed of construction, whilst the cast-in-place cantilever method proceeds at a rate of 3.5 m. a week on both sides of a pier; in the case of the precast method this is 1 to 2 elements, equal to 3.5-7 m. per day.

We are presented with the problem, however, that the alignment can only be adjusted to a certain extent, and can never be forecast to within 1 cm.

Furthermore, the epoxy-glue is sensitive to temperatures around freezing point.

For spans of 35-40 m. the minimum curvature is 150-200 m.

As far as has been possible to discover, the self-launching piecemeal system has been used up to now exclusively for valley- and river-crossings. This is due to the fact that the superstructure has to be either straight or have a constant curve, both horizontally as well as vertically, and furthermore that building without scaffolding is much more advantageous in the case of great heights. Complete freedom from the terrain conditions together with the small number of man-hours required per m^2 of bridge-deck prompts the question as to whether the system should not also be used for other viaducts.



The way in which the problem of crossing a railway yard with overhead wires was solved in Hallein (Austria), for instance, resembles in many ways the self-launching system, even though the bridge-halves were manufactured as one piece, and were not made to glide over the piers.

VIADUCT AT HALLEIN

The sideways insertion of railway bridges in railway tracks in use also resembles, in principle, the self-launching system: they have in common, that the superstructure is manufactured either in the extension of the bridge or parallel thereto, after which the entire superstructure is slid into position.

For the temporary support of the long cantilever during launching, auxiliary support can be used; this can also be done with the aid of a pylon and stay cables, as was done in the Semorila-viaduct near Rapallo, Italy.

An interesting feature of the construction system, used in this viaduct is that the deck of the box-girder was cast after launching in order to achieve a saving in weight during launching.

The Statical System: Bearings, cross-section, piers.

When analysing the statical system the following questions will arise:

1. what provisions are made for expansion?
2. how is the load carried in longitudinal direction?
3. how is an excentric load sustained?
4. what provisions are made for horizontal forces, in particular, resulting from earthquakes?
5. what inconvenience will be caused to traffic by joints and incalculable deformations?
6. what is the simplest solution with regard to the method of execution?

The development in the field of bearings and joint constructions are closely related to the foregoing.

The inconvenience to traffic, caused by closely placed joints and the damage to joints caused by the increasing volume of traffic and by the increased use of spraying salts, has resulted in a concentration of expansion at great distances from each other. The introduction of rubber bearing-pads and sliding bearings with teflon rendered it possible to make viaducts longer than 1 km. without expansion joints, with the exception of those at the abutments. By providing a number of piers in the middle of the viaduct with rubber bearings and the rest with sliding bearings, it is possible to distribute the horizontal load over more than

one pier.

These great distances between joints are not ideal for every method of execution.

From the point of view of the execution a statically determined system, in which the beams are supported at their ends on the piers, provides the simplest solution in the case of precast beams.

Refinements in which the beams of successive spans are connected monolithically by continuity cables have become obsolete.

Nowadays, however, the roadsurface is sometimes made as one continuous piece by making the deck slab continuous over the pier.

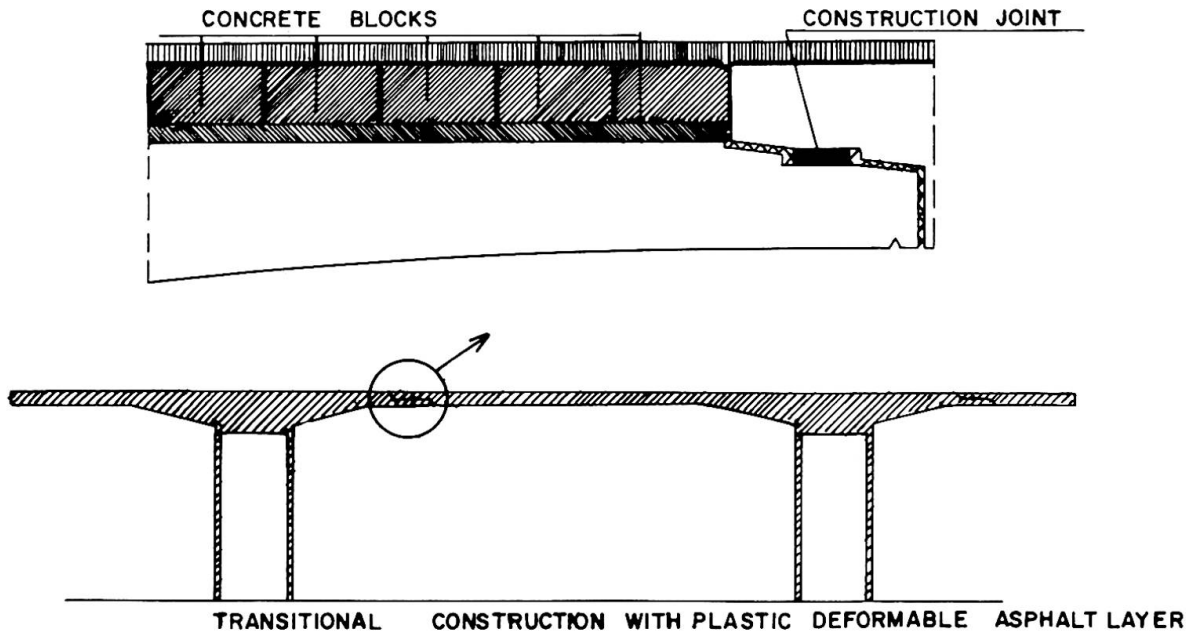
Although the bearings should be designed for greater displacements, this does mean that one is no longer inconvenienced by the large number of joints.

Furthermore, it also has the advantage that, in places where earthquakes occur, it is possible to transmit the horizontal forces.

It is not possible to connect precast beams in successive spans in the aforementioned way if the superstructure consists alternately of precast beams and table plates, rigidly connected to the piers.

As the columns are very rigid, this involves one expansion joint per span in the case of low viaducts.

A similar statical system for mushroom viaducts is that in which instead of precast beams, for this type of construction Dycherhoff & Widmann Comp., have developed a transitional construction,



consisting of a series of concrete blocks, which are elastically connected to the two construction parts by means of prestressing bars.

This means that the expansion in the construction joint can be distributed over the joints between the blocks. Consequently the asphalt deck can run continuously over the joint.

It is also possible to construct a continuous asphalt layer over a construction joint by reinforcing the asphalt layer itself.

Mats have been developed by the plastic and fiber industry which serve for this purpose. A displacement of some cms. can be covered in this way.

These developments offer new possibilities for those construction forms which, as a result of the considerable amount of joints necessary, have fallen out of favour in the past few years.

As well as these solutions with continuous asphalt layers, solutions have also been found, consisting of a neoprene waterstop, fitted in cast-in-place epoxy resin.

This expansion and the watertightness is provided for by a neoprene waterstop. The permissible relative displacement up till now is 3 cm.

The joint construction is carried out after the asphalt has been laid so that the asphalt can be effected without interruption as in the latter case; this is particularly beneficial to the quality near the joints in skew bridges.

Another factor which influences the position as well as the number of joints is the risk of undersized deformation. If the cantilever construction continues up to mid-span the obvious solution which seems to suggest itself is to position the joint at mid-span.

However, this has the drawback that the displacement and angle rotation at the joint resulting from lifeload, creep and prestressing losses will be much greater than if the joint is positioned near the point at which the moment would be zero in case of a statical system without a joint. On making a comparative calculation the Frenchman Jean Muller arrived at a factor 3 for the angle rotation.

In the case of the Oleron bridge Campenon Bernard found a solution for the problem of a joint in the cantilever by making the joint construction rigid during the execution. Furthermore, the number of joints is limited by supporting the superstructure on rubber bearing-pads. A temporary fixation to the pier is realized by means of high-tensile bolted rods.

The form of the cross-section of the superstructure is directly connected with the form of the pier. In the case of a central column underneath a superstructure having a width of 10-15 m. a natural solution is to direct the forces gradually from the superstructure to the pier. A good example of this is the mushroom bridge in which the mushroom does not necessarily have to take the form of a solid plate but can be split up into beams. Dycherhoff & Widmann who introduced this type of bridge-construction refer to it as the T-shaped mushroom bridge. A similar construction is formed by the table plate with precast girders.

If the superstructure is to be constructed as prismatically as possible over the piers then the cross-section can be made such that at the pier only a slight sideways transmission of forces is necessary. A good cross-section form of this is the box-girders with projecting roadslabs. In order to avoid making these projecting roadslabs too big, the outer walls of the box-girder are slanted. The box-girder form of the Western Avenue Extension Section 5 as well as the Chillon viaduct (Switzerland) can be mentioned as examples of the incorporation of sidewalls with multi-purpose functions: part of the bottom slab, serving as side-wall, and bottom slab for the cantilever.

The aforementioned examples show that the freedom of choice in shaping the superstructure, which permits of a combination consisting of a good transmission of forces to the pier and a solution pleasing to the eye, is not hampered by the trend towards efficiency in the execution; we may even say that in some cases it is increased by the way in which efficiency is arrived at: an efficient system of scaffolding in the case of the mushroom bridge; the greater possibilities of prefabrication in the case of complicated box girders.

Prestressing.

When we speak of the development of the execution techniques for bridges we are automatically inclined to include the development of prestressing.

From the historical point of view this is only as it should be, as prestressing was an indispensable factor in the development of these techniques. Yet we may very well ask ourselves if a further development of the prestressing systems is really necessary at this moment for the development of bridge building.

In addition to the costs of the prestressing system, (material+ man-hours), there are, in my opinion, three factors which determine the applicability:

1. the maximum force of a tendon and the variety of tendons. In most systems, the rupture force of the largest tendons is more than 200 tons. This would seem to be a reasonable maximum for bridges with a span of more than 100 m. The minimum concrete dimensions necessary for the anchorage would then be more than 35 cm. This would seem to be the limit at which the anchorages can be lodged in the concrete without further cumbersome provisions. All systems lend themselves to a variation of prestressing force, which is necessary in the case of transverse prestressing.
2. possibility of coupling.
3. possibility of inserting cables in ducts already cast in the concrete.

In the development of execution systems a correlation can be seen between the possibility offered by the prestressing systems and the method of execution: the span-by-span construction has been developed with prestressing systems, which provide for easy coupling of the tendons; the systems in which precast elements are connected by inserted cables have been developed with prestressing systems in which cables could easily be inserted. Since then, however, the respective prestressing systems have eliminated the limitation as much as possible so that they have become

more gradual than absolute. The system in its entirety gives every opportunity of achieving an effective application of the methods of execution aimed at.

Finally, I should like to draw attention to a part of the development in design which should not be neglected in the interaction between design and execution:

We must always take into consideration all those factors which in any way whatsoever may affect the structure.

The National Specifications stipulate a strongly schematic loading for the bridge.

During the last few years the IABSE and the CEB have devoted much attention to the problem of safety and the importance of probabiliorism.

A survey of the amount of damage sustained by viaducts shows that a large part of this occurs during construction and that the rest can be attributed, for the major part, to careless execution, inaccurate detailing, influence of temperature, collisions, deterioration due to spraying salt, and the like. Hardly ever do we hear of collapse of damage due to the kind of loading prescribed by the specification.

It seems that the loading specifications have much too great an influence on the development of construction forms. An example of this is a beam-grillage.

The most unfavourable position of the loading is taken as starting point for every part of the construction calculation. The result of this is that the strength of the entire bridge is much greater than required.

Surely it would be better to use the surplus involved in order to limit the damage caused by other factors.

Summary.

The interaction between design and execution is part of the process of the development of new construction forms. If this process is to function properly, more attention should be paid to the feedback from execution to design.

Various execution systems for bridges are briefly described viz:

1. cast-in-place span-by-span construction with the aid of on-the-ground, moveable scaffolding.
2. cast-in-place span-by-span construction with the aid of suspended, self-launching formwork carrier.
3. cast-in-place segmental cantilever construction.
4. prefabricated beams.
5. precast segmental construction supported by scaffolding.
6. precast segmental cantilever construction.
7. self-launching piecemeal system (German "Taktschiebeverfahren")

In the section on the statical system attention is paid to the development of a joint construction in which the road surface is not interrupted.

This can have favourable consequences for those systems which make use of a great number of joint.

Mention is made of some good solutions for connecting the superstructure to concentrated pier columns.

The writer is of the opinion that at the moment there is not much point in furthering the development of prestressing as far as the development of bridge construction is concerned.

Zusammenfassung

Die Wechselwirkung zwischen Entwurf und Ausführung ist ein Teil des Entwicklungsprozesses von neuen Konstruktionsformen. Zum einwandfreien Funktionieren dieses Prozesses sollte man dem Informationsrückfluss von der Ausführung zum Projekt mehr Beachtung schenken. Verschiedene Ausführungsarten von Brücken werden kurz beschrieben:

1. Ortsbeton, eine Spannung nach der andern mit Hilfe eines am Boden abgestützten, beweglichen Lehrgerüsts ausgeführt.
2. Ortsbeton, eine Spannung nach der andern mit Hilfe eines abgespannten, freitragenden Schalungsträgers.
3. Ortsbeton, abschnittweiser Freivorbau
4. Vorfabrizierte Träger
5. Abschnittsweise vorfabriziert, durch Lehrgerüst unterstützt
6. Freivorbau mit vorfabrizierten Abschnitten
7. Taktschiebverfahren, Taktvorschub

Im Abschnitt über das statische System wird speziell auf die Entwicklung einer Fugenausbildung ohne Unterbruch des Fahrbahnbelags hingewiesen. Das wirkt sich natürlich bei Brücken mit grösserer Fugenzahl besonders vorteilhaft aus.

Einige gute Lösungen des Anschlusses des Ueberbaus an Einzelstützen werden erwähnt.

Der Autor ist der Ansicht, dass es zur Zeit wenig sinnvoll ist, die Entwicklung der Vorspannung, soweit es den Brückenbau betrifft, weiter voran zu treiben.

Résumé

L'interaction entre la conception et l'exécution fait partie du développement de nouvelles formes de construction. Pour que ce procédé fonctionne proprement, il faut prêter plus d'attention à l'influence de l'exécution sur la conception.

Différents systèmes d'exécution de ponts sont brièvement décrits:

1. Béton coulé sur place, travée par travée, à l'aide d'un échafaudage mobile et appuyé sur le sol.
2. Béton coulé sur place, travée par travée, à l'aide d'un coffrage suspendu en porte-à-faux.
3. Béton coulé sur place, construction en encorbellement par étapes.
4. Poutres préfabriquées.
5. Préfabriqué par étapes, appuyé sur un échafaudage
6. Construction en encorbellement, par étapes préfabriquées.
7. Lancement en port-à-faux.

Dans le chapitre consacré au système statique on étudie le développement de la construction de joints sans interruption de la chaussée, qui sont les bienvenus dans les systèmes comptant de nombreux joints. On cite ensuite quelques bonnes solutions pour la liaison de la superstructure aux piles.

L'auteur est d'avis qu'actuellement il ne faut pas chercher à développer la technique de la précontrainte appliquée à la construction des ponts.

Leere Seite
Blank page
Page vide

IV

Wechselbeziehung von Entwurf und Baumethoden bei Talbrücken

Interrelation between Design and Methods of Construction for Viaducts

Influences réciproques entre le projet et les méthodes d'exécution pour viaducs

C. MENN

Dr. sc. techn., dipl. Ing. ETH
Chur, Schweiz

Der Bau von Autobahnen und Express-Strassen nahm in den letzten 10-15 Jahren mit der intensiven Entwicklung des Motorfahrzeugverkehrs einen ausserordentlich starken Aufschwung. Gestreckte Linienführung, ausgeglichene Nivellete und niveaufreie Kreuzungen erforderten die Erstellung zahlreicher grosser Brücken. Der Kostenanteil der Brücken an den Gesamtbaukosten einer Autobahn beträgt ca. 25 % und von der Gesamtprojektierungsarbeit beanspruchen die Brückenprojekte etwa die Hälfte. Für die Auftragserteilung führt die Bauherrschaft - normalerweise die öffentliche Hand - bei grösseren Bauwerken entweder einen Projekt- oder einen Submissionswettbewerb durch. Beim Projektwettbewerb wird der beste Entwurf anschliessend öffentlich zur Ausführung ausgeschrieben, beim Submissionswettbewerb erfolgt die Auftragserteilung dagegen gleichzeitig für Projektierung und Ausführung. Nur Projekte für kleinere Brücken werden im Direktauftrag vergeben, wobei aber auch hier durch Variantenstudien oder durch Sonderentwürfe bei der Bauausschreibung verschiedenartige Lösungsmöglichkeiten gegeneinander abgewogen werden. Der Ingenieur hat damit die Möglichkeit, durch geschickte neuartige Konzeptionen und Vorschläge den Projektierungs- oder Ausführungsauftrag zu erwerben, was den Brückenbau besonders interessant macht und Konkurrenz und Entwicklung in hohem Masse fördert.

Bei der Projektierung einer Brücke sind - abgesehen von der rechnerischen Sicherheit, die immer gewährleistet sein muss - folgende Faktoren zu berücksichtigen und in zweckmässigster Art miteinander zu kombinieren:

- Ausführungsrisiken
- Konstruktive Ausbildung und Dauerhaftigkeit
- Erstellungskosten und Aufwand für normalen Unterhalt
- Aesthetik

Die Beurteilung verschiedenartiger Entwürfe ist ausserordentlich schwierig. Sie erfordert umfangreiche Sachkenntnis und Erfahrung, weil die einzelnen Faktoren von Fall zu Fall verschieden gewertet werden müssen und in ihrem Einfluss sehr schwer zu überblicken sind.

Die rechnerische Sicherheit betrifft einerseits das Tragverhalten im Gebrauchszustand, umschrieben durch zulässige Spannungen und Verformungen, und andererseits die eigentliche Bruchsicherheit, die im allgemeinen als Produkt von Last- und Querschnittsfaktor mit 1.8 festgelegt ist. Diese rechnerische Sicherheit ist weitgehend ein akademisches Problem, das in den diesbezüglichen Vorschriften der Normen seinen Niederschlag findet und in der Praxis kaum zu Diskussionen Anlass gibt.

Mit Ausführungsrisiken - vermehrtem Unterhalt und ev. Reparaturarbeiten - muss vor allem bei der Verwendung neuer, zu wenig erprobter Baumaterialien gerechnet werden. Heikle, empfindliche und unübersichtliche Tragsysteme oder Baumethoden, die grosse, nicht korrigierbare Verformungen zur Folge haben können und dadurch Aesthetik und Fahrkomfort beeinträchtigen, sind ebenfalls mit Ausführungsrisiken verbunden.

Die konstruktive Ausbildung wirkt sich einerseits auf die Sicherheit und andererseits auf die Dauerhaftigkeit eines Tragwerkes aus. Es sind konstruktive Probleme bei der Systemwahl, bei der Querschnittsausbildung und bei der Bewehrung zu unterscheiden.

Im Gesamtsystem ist die Anordnung und Ausführung der Lager, Gelenke, Dilatations- und Betonierfugen von entscheidender Bedeutung für Unterhalt und Dauerhaftigkeit. Gerberträger-Gelenke können zum Beispiel schon nach wenigen Jahren bei Salz- und Frosteinwirkungen schwerste Schäden aufweisen, die wegen der Unzugänglichkeit der Lager und wegen der Spanngliedverankerung in den Nocken der Gerberträger kaum mehr zu reparieren sind.

Bei der Querschnittsausbildung ist vor allem darauf zu achten, dass alle Oberflächen, wenn möglich auch das Innere eines Hohlkastens, jederzeit zugänglich, kontrollier- und reparierbar sind. Der Einfluss der Zwängungen infolge ungleicher Temperatur oder unterschiedlichen Schwindens ist besonders bei breiten Tragwerken sorgfältig zu untersuchen. Die Querschnittsabmessungen müssen der vorgesehenen Bewehrung entsprechend genügend stark sein. Zu knappe Abmessungen oder überarmierte Tragwerksteile erschweren die einwandfreie Verarbeitung des Betons. Die Folgen davon sind: schlechtere Betonqualität, kleinere Haftfestigkeit der Stahleinlagen, Schwierigkeiten bei der Spanngliedinjektion, Oberflächenschäden und Rostbildung an Stahleinlagen mit zu geringer Betonüberdeckung. Diese Mängel können zwar bei sorgfältiger Ueberwachung der Bauarbeiten zum Teil behoben werden. Die Dauerhaftigkeit eines Tragwerks ist deshalb auch abhängig von der Qualität der Bauleitung und der Bauunternehmung.

Das Ziel einer guten konstruktiven Bewehrung besteht in einem günstigen Verhalten des Tragwerks bei Ueberbelastungen und Zwängungen. Zwängungen entstehen bei Setzungen, verschiedenartigem Schwinden der Querschnittselemente und bei ungleichmässigen Temperaturänderungen; der Einfluss gleichmässiger Verformungen infolge Schwinden und Temperatur kann durch entsprechende Systemlagerung weitgehend eliminiert werden. Während Ueberlastungen relativ selten vorkommen, ist bei den meisten Tragwerken mit Ueberbeanspruchungen durch Zwängungen zu rechnen. Diese Ueberbeanspruchungen sind zwar im allgemeinen von geringem Einfluss auf die Tragwerkssicherheit; sie verursachen jedoch Risse, die nur mit einer guten konstruktiven Bewehrung so klein gehalten werden können, dass sie die Dauerhaftigkeit nicht wesentlich vermindern.

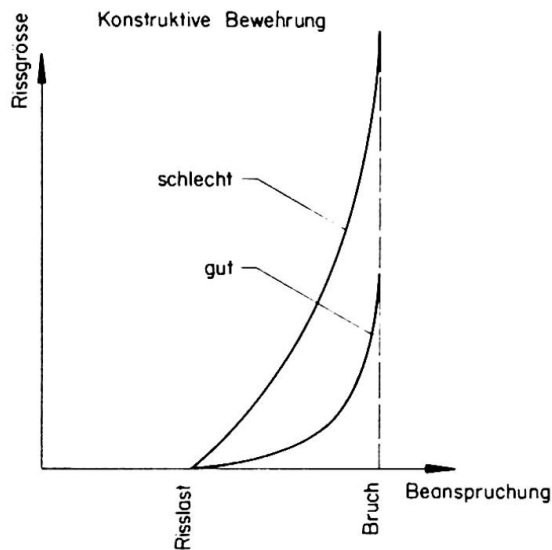


Bild 1.

Die Lebensdauer einer Brücke sollte bei normalem Unterhalt (systematische Kontrolle der Lager, Fugen und Entwässerung sowie periodische Revision und Erneuerung des Belages) mindestens 100 Jahre betragen und während dieser Zeit auch den zunehmenden chemischen Einwirkungen standhalten. Dies betrifft insbesondere Streusalze, die im Wasser

gelöst durch Undichtigkeiten in Belag und Isolation die eigentliche Tragkonstruktion angreifen. Für umfangreiche Reparaturarbeiten, die zur Gewährleistung der Sicherheit erforderlich sind und für eine kürzere Lebensdauer, sind im allgemeinen konstruktive Mängel verantwortlich. Gesamtwirtschaftlich betrachtet, spielt somit die konstruktive Ausbildung eine ausserordentlich wichtige Rolle.

Die effektiven Baukosten sind bei der Projektbeurteilung meistens von ausschlaggebender Bedeutung und es besteht oft die Gefahr, dass nie im Vergleich zu den konstruktiven Gesichtspunkten, die allerdings ungleich schwieriger zu beurteilen sind, überbewertet werden.

Der normale Unterhalt besteht - wie bereits angedeutet - im wesentlichen aus der Kontrolle der Lager, Fugen und Entwässerungen und der periodischen Erneuerung des Belages. Bei den üblichen Konstruktionen sind diesbezüglich kaum wesentliche Unterschiede festzustellen; eine Ausnahme sind allerdings im Freivorbau hergestellte Träger aus vorgefertigten, geklebten Elementen. Da hier die empfindlichen Spannglieder in der Fahrbahnplatte durch die unbewehrten Elementfugen durchgezogen werden, ist die absolute Wasserundurchlässigkeit der Isolation von entscheidender Bedeutung, d.h. derartige Konstruktionen erfordern eine häufigere Erneuerung des Belages als Ortsbetonkonstruktionen.

Die Aesthetik hat, je nach Standort des Bauwerks, eine verschieden grosse Bedeutung. Auch wenn sich jede Brücke als Kunstbau in einem Verkehrsweg durch Formvollendung und harmonische Proportionen auszeichnen sollte, ist es verständlich, wenn die Bauherrschaft bei weniger exponierten Bauwerken mehr Wert auf Wirtschaftlichkeit als auf Aesthetik legt. Bei städtischen oder durch einen ganz besonderen Standort ausgezeichneten Brücken sollten dagegen Mehrkosten für aesthetisch gute Lösungen in Kauf genommen werden, da Brücken als Kulturdenkmäler immer eine grosse Rolle spielten. Andererseits ist aber nicht zu verkennen, dass der Begriff der Aesthetik wandelbar ist und dass demzufolge technisch und konstruktiv einwandfreie Lösungen immer auch aesthetisch überzeugend wirken.

Die Entwicklung der Brückenbautechnik wurde in den letzten Jahren durch neue Erkenntnisse auf folgenden Gebieten beeinflusst:

- Genauere Berechnung des Spannungszustandes
- Bessere Erfassung des Sicherheitsbegriffes
- Abklärung der Materialeigenschaften
- Konstruktive Verbesserungen durch Versuche
- Erfahrungen an ausgeführten Bauwerken
- Verbesserung und Rationalisierung der Ausführungsmethoden.

Die Berechnungsmethoden haben seit der umfassenden Verwendung von Rechenautomaten eine grundlegende Wandlung erfahren. Es ist heute ohne weiteres möglich, komplizierte Systeme sehr genau zu berechnen - entsprechende Programme werden allen Ingenieuren von den Rechenzentren zur Verfügung gestellt - und mehrere Varianten in kurzer Zeit miteinander zu vergleichen. Schwierige mathematische Ableitungen sind für den praktisch tätigen Ingenieur nicht mehr interessant; ihn interessieren nur noch einfachste Näherungsmethoden, die ihm erlauben, die erforderlichen Querschnittswerte in erster Näherung abzuschätzen. Gegenüber den allgemein zur Verfügung stehenden Möglichkeiten lassen sich durch spezielle Verfeinerungen kaum wirtschaftliche Vorteile erzielen. Es ist deshalb erstaunlich, dass in der Fachliteratur immer noch vorwiegend Berechnungsprobleme behandelt werden.

Am Sicherheitsbegriff hat in den letzten Jahren nicht viel geändert. Die genauere Erfassung der einzelnen Sicherheitskoef-

fizienten auf statistischer Basis - insbesondere bei der Bewertung des Lastfaktors - erbrachte wohl geringfügige Verbesserungen; die zu erwartenden Änderungen am Sicherheitsbegriff dürften jedoch so klein sein, dass davon keine neuen Impulse auf die Brückenbautechnik zu erwarten sind.

Von wesentlich grösserer Bedeutung ist die Abklärung der Materialeigenschaften, wobei ganz besonders die Untersuchungen und Massnahmen zur Beschleunigung der Betonerhärtungszeit, die Versuche mit Leichtbeton und Kunststoffen und die Fortschritte in der Stahlherstellung und -Verwendung zu nennen sind.

Die Massnahmen für konstruktive Verbesserungen - Untersuchungen über Zwangungen, zweckmässige Anwendung der Bewehrung etc. - sind ebenfalls ausserordentlich wichtig. Sie wirken sich zwar weniger auf die Herstellungskosten aus, sind aber für die Dauerhaftigkeit der Konstruktion und somit gesamtwirtschaftlich von grosser Bedeutung. Auf diesem Gebiet haben die Materialprüfanstalten der Hochschulen wertvolle Beiträge geleistet.

Ueber Erfahrungen an ausgeführten Bauwerken, insbesondere über schlechte Erfahrungen, wird leider viel zu wenig bekannt. Es ist zu bedauern, dass die gleichen Fehler immer wieder gemacht werden, weil hierüber fast nie etwas veröffentlicht wird. Es wäre ausserordentlich interessant und wertvoll, wenn Unterhalts- und Reparaturprobleme in grösserem Umfang behandelt würden.

Der weitaus grösste Beitrag zur Senkung der Herstellungskosten wurde durch die Verbesserung und Rationalisierung der Baumethoden geleistet. Die scharfe Konkurrenz zwang den Ingenieur, in direkter enger Zusammenarbeit mit dem Unternehmer, zur Ausschöpfung aller bautechnischen Möglichkeiten und zur Anpassung seiner Projekte an die Markt- und Preisentwicklung.

Im folgenden werden einige interessante, neue Baumethoden und die damit zusammenhängenden Probleme beschrieben.

Die Herstellungskosten einer Brücke setzen sich im wesentlichen aus folgenden Positionen zusammen:

- Baustelleneinrichtungen und Arbeitsgeräte
- Lehrgerüste
- Schalungsarbeiten

- Bewehrung
- Beton

An Beton und Bewehrung lassen sich bei gleichen Spannweiten und gleicher Bauhöhe nur geringe Einsparungen erzielen. Bei den lohnintensiven Positionen - Lehrgerüst und Schalung - können dagegen die Baukosten mit einem geschickten Projekt, das auf einen rationellen Bauvorgang abgestimmt ist, stark gesenkt werden. Es ist sogar in vielen Fällen interessant, auf Kosten von Beton und Bewehrung den Aufwand für Gerüst und Schalung zu vermindern. Die Kosten für die Miete und den Unterhalt der Baustelleneinrichtungen und Geräte können vor allem durch einen raschen Bauvorgang gesenkt werden. Die Anwendung von Taktverfahren lohnt sich insofern, als durch Wiederholungen die Arbeitsleistung gesteigert und die Abschreibung für Gerüst und Schalung erhöht werden kann.

Feldweise Herstellung des Brückenträgers:

Mit durchgehenden Lehrgerüsten und Schalungen auf der ganzen Länge werden heute nur noch kleinere Brücken oder Träger mit weniger als vier Spannweiten ausgeführt, da dieses Verfahren den Einsatz von zuviel Gerüst- und Schalungsmaterial erfordert. Bei der feldweisen Herstellung in Ortsbeton auf konventionellem Gerüst werden normalerweise zwei Felder eingerüstet und eines dieser Felder - mit Kragarm im Nachbarfeld - eingeschalt und betoniert. Unmittelbar nach dem Betonieren und teilweisen Vorspannen wird das Gerüst dieses Feldes demontiert und neu aufgebaut, sodass die Schalungs-, Armierungs- und Betonierarbeiten in kontinuierlichem Ablauf fortgesetzt werden können. Die Feldweite kann bei diesem Verfahren verschieden lang sein; ein fester, den Gerüstträgern entsprechender Raster ist allerdings vorteilhaft. Der Querschnitt - als Platte, Plattenbalken oder Hohlkasten ausgebildet - sollte im Hinblick auf die Wiederverwendung der Schalungselemente unverändert beibehalten werden. Die Spannlieder werden am Ende des Kragarms zum Teil abgespannt und zum Teil mit Gleitkupplungen versehen oder im Kasteninnern herausgezogen und verankert. Wenn das Absenken des Gerüsts sehr früh und bei teilweiser Vorspannung erfolgt, müssen die voll vorgespannten Spannlieder in Verbund wirken, d.h. injiziert sein.

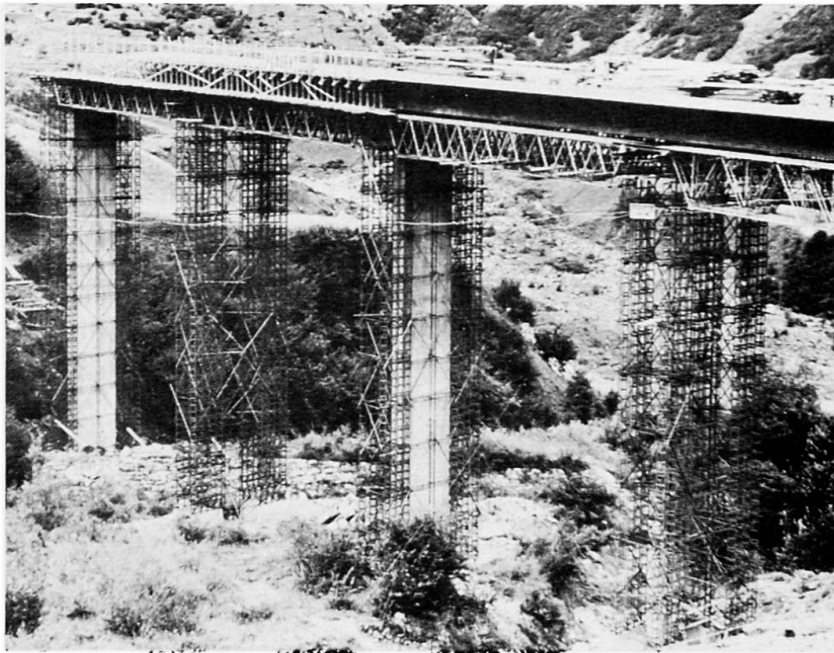
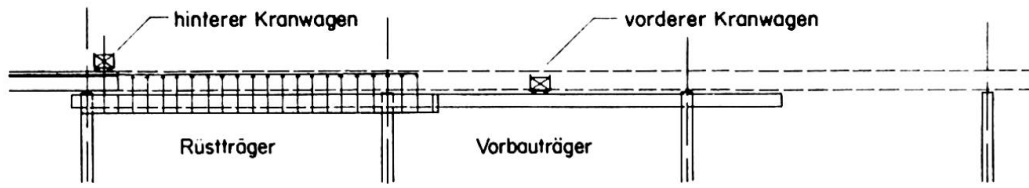


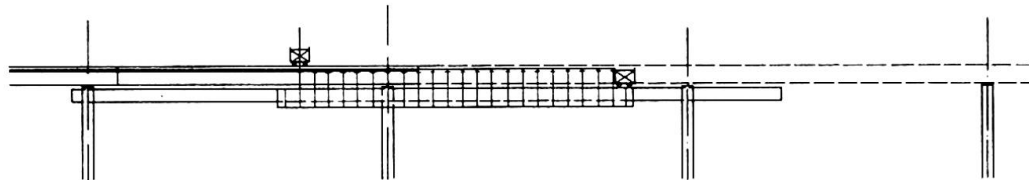
Bild 2. Feldweise Herstellung mit konventionellem Gerüst

Der Vorteil dieser Methode besteht darin, dass verhältnismässig wenig Gerüstmaterial (2 Felder) notwendig ist, dass die Schalung durch mehrfache Wiederverwendung weitgehend abgeschrieben und die Arbeitsleistung durch Wiederholung des gleichen Arbeitsganges gesteigert werden kann. Da das mehrfache Ummontieren des Gerüsts sehr lohnintensiv ist, werden mit Vorteil normierte Gerüstjoche mit relativ weitgespannten Gerüstträgern verwendet. Bei kleineren Spannweiten können die Gerüstmontage und sämtliche Arbeiten für das in Ausführung begriffene Feld mit einem Kran, der sich auf dem fertiggestellten Teil der Brücke befindet, durchgeführt werden. In besonders günstigen Fällen - ebenes Terrain und kleine Brückenhöhe - ist die Verwendung fahrbarer Gerüste interessant.

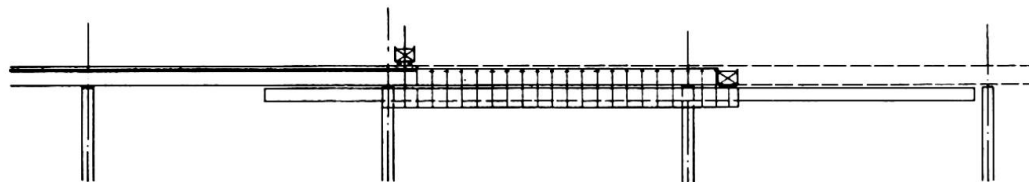
Eine wesentliche Rationalisierung konnte bei langen Brücken mit Vorschubgerüsten erzielt werden. Der eigentliche Gerüstträger dient zur Herstellung eines Feldes und ist normalerweise nur bei den Brückenpfeilern abgestützt. Die Gerüstträger befinden sich über oder unter der Brückenfahrbahn. Die äussere Schalung ist als Bestandteil des Vorschubgerüsts ausgebildet. Da die Schalungsarbeiten dadurch weitgehend entfallen, ist der Arbeitsfortschritt ausserordentlich rasch. Das Vorschieben des Rüst-



a) Rüstträger in Betonierstellung



b) Vorfahren des Rüstträgers



c) Vorfahren des Vorbauträgers

Bild 3. Vorschubgerüst mit Vorbauträger

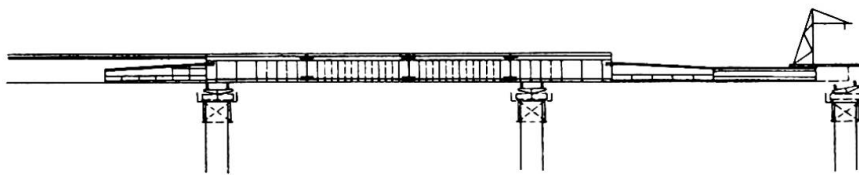


Bild 4. Vorschubgerüst mit Vorbaustrahl

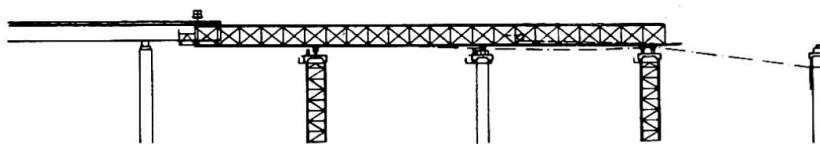


Bild 5. Vorschubgerüst mit Zwischenstütze

trägers von Feld zu Feld erfolgt entweder nach dem "Rechenschieberprinzip" mit einem speziellen Vorbauträger (zwischen den Rüstträgern), einem festen oder horizontal beweglichen Vorbauschnabel oder über einer Hilfszwischenstütze. Ohne Zwischenabstützungen können mit freitragenden Vorschubgerüsten Feldweiten bis ca. 60 m ausgeführt werden. Gleichbleibende Spannweiten auf der ganzen Brückenlänge sind vorteilhaft. Der Querschnitt sollte, wenn irgend möglich, nicht geändert werden, da der Umbau der Schalung - wenn überhaupt durchführbar - äusserst aufwendig ist. Bauverfahren mit Vorschubgerüsten weisen somit folgende Vorteile auf:

- Nach der Erstmontage sind nur noch unwesentliche Montagearbeiten erforderlich-
- Die Schalarbeiten entfallen weitgehend, da die Schalung fest mit dem Gerüst verbunden ist.
- Der Baufortschritt ist ausserordentlich schnell.

Nachteilig sind die hohen Investitionskosten und die grossen Aufwendungen für Transport, Erst- und Demontage, die den Einsatz dieser schweren Geräte nur bei Brückenlängen über etwa 400 m gestatten. Schwierigkeiten entstehen auch bei starken Krümmungen oder Auf- und Abfahrten, die Querschnittsänderungen zur Folge haben.



Bild 6. Krahlenberg-Brücke bei Andernach. 1)
(Werkfoto Polensky & Zöllner)

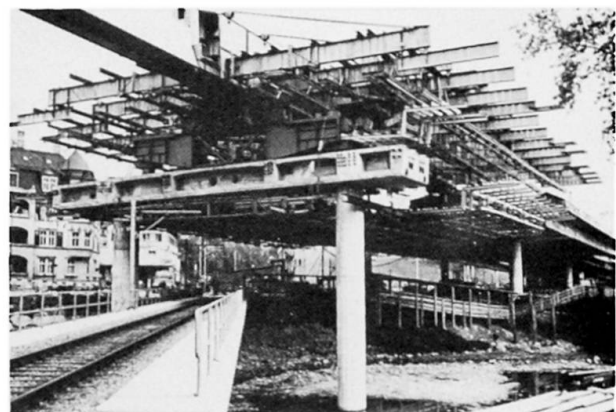
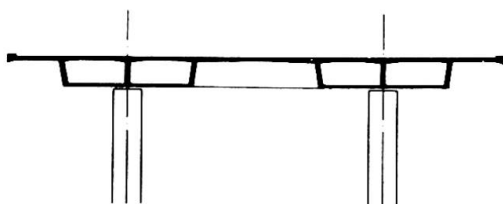


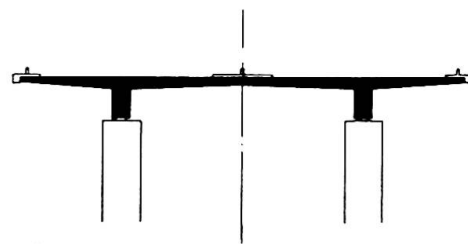
Bild 7. Sihlhochstrasse Zürich; obenliegendes Gerüst.
(Foto Tiefbauamt, Zürich)

Die ersten Brücken, die mit Vorschubgerüsten hergestellt wurden, weisen den statisch günstigen Kastenquerschnitt auf. Da die Herstellung der inneren Kastenschalung jedoch viel Zeit in Anspruch nimmt und separat transportiert werden muss, wird heute der zweistegige, querträgerlose Plattenbalken-Querschnitt vorgezogen, obwohl diese Querschnittsform einen grösseren Materialverbrauch erfordert. 2) 3) 4). Dies ist ein typisches Beispiel dafür, wie auf Kosten von Stahl und Beton Zeit und teure Arbeitsvorgänge gespart werden können. Ähnliche Zeiteinsparungen liessen sich bei Hohlkastenquerschnitten nur durch Vorfabrikation der oberen und unteren Kastenplatten erzielen.

Bei der feldweisen Herstellung eines Brückenträgers ist ein genauer Arbeitsplan für einen Bauabschnitt erforderlich. Zur Vermeidung von Unterbrüchen im Arbeitsablauf muss die Erhärtungszeit des Betons auf das Wochenende eingeplant werden. Bis zum Vorspannen und Ausrüsten eines Feldes stehen somit höchstens 60 Stunden zur Verfügung. Die genaue Kenntnis der Betoneigenschaften in diesem frühen Stadium (Festigkeit, Elastizitätsmodul, Kriech- und Schwindwerte etc.) ist deshalb unerlässlich.



a) Hohlkastenquerschnitt für Autobahnbrücken



b) Plattenbalkenquerschnitt für Autobahnbrücken bis 30m Breite; Konsolaufladung bis 7.5m

Bild 8. Querschnitte

Weitere Probleme sind die Bestimmung der günstigsten Kragarmlänge, unter Berücksichtigung des Platzbedarfes für die Spanngliedverankerungen, der Spanngliedlage, der Verformungen und der Statik, die Berechnung der Ueberhöhungen - vor allem bei teilweiser Vorspannung - und die Ermittlung der Kräfteumlagerungen infolge Kriechen.

Die feldweise Herstellung einer Brücke mit vorfabrizierten Trägern ermöglicht ebenfalls einen raschen Baufortschritt und beträchtliche Einsparungen an Gerüst- und Schalungsarbeit. Der Trägereinbau erfolgt entweder mit einem vorfahrbaren Verlegegerät mit Zutransport über den fertiggestellten Teil der Brücke oder, bei günstigen Verhältnissen, von unten mit Hilfe von Pneukranen. Die Fahrbahnplatte wird meistens in Ortsbeton hergestellt, wobei als Schalung zwischen den Trägern dünne, vorfabrizierte Betonbretter verwendet werden. Sie kann aber auch direkt durch den Trägerflansch (ohne Ueberbeton) gebildet werden oder aus grossen vorgefertigten Tafeln bestehen, die durch nachträglich ausgegossene Aussparungen mit den Trägern verbunden werden. Die beiden letztgenannten Verfahren stellen hohe Anforderungen an die Herstellungsgenauigkeit (elastische und plastische Trägerverformungen).

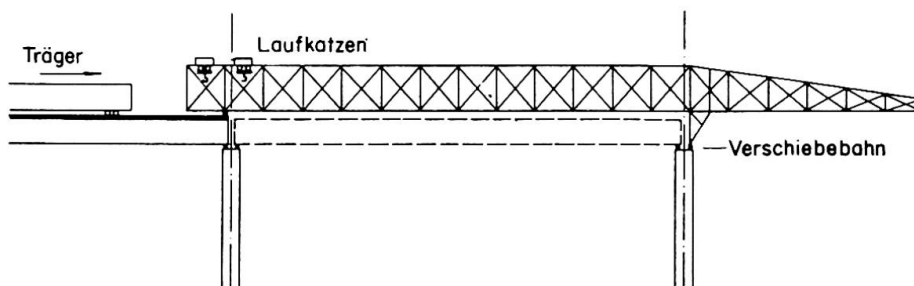


Bild 9. Längs- und querverschiebliches Einbaugerät für Fertigträger

Als Tragsystem werden Balkenketten oder Durchlaufträger mit Spannweiten bis zu 50 m ausgeführt. Das Verfahren ist wirtschaftlich bei mehreren gleichen Spannweiten mit gleichbleibendem Querschnitt. Schiefe Lagerung oder starke Krümmungen im Grundriss wirken sich sehr erschwerend aus.

Der Hauptnachteil dieser Konstruktionsart besteht in der starken Querschnittsgliederung und in der Verbindung der vorfabrizierten Elemente, die - je nach Ausführung - eine beträchtliche Einbusse an Dauerhaftigkeit zur Folge haben können.

Ein heikles Problem ist die Verbindung der Träger über den Stützen. Bei Balkenketten werden die Träger über den Stützen entweder durch eine Fuge vollständig voneinander getrennt - eine teure und fahrtechnisch unerwünschte Lösung - oder durch eine Uebergangsplatte miteinander verbunden. Die Uebergangsplatte wird mit Betongelenken an die Trägerenden angeschlossen; der Belag kann in diesem Falle ohne Unterbruch durchgeführt werden. Bei Durchlaufsystemen werden die Träger der benachbarten Felder mit einem in Ortsbeton hergestellten Querträger über der Stütze verbunden. Die Aufnahme der negativen Stützmomente erfolgt mit schlaffer Bewehrung in der Ortsbetonplatte mit Durchschubkabeln oder bei vorfabrizierten Fahrbahntafeln durch Vorspannen der Platte über der Stütze.



Bild 10. Bünzthal-Brücke, Nationalstrasse N1 Zürich - Bern

Ein wichtiges Problem ist bei dieser Baumethode die Berechnung der Zwängungsspannungen infolge Schwinden, Kriechen und ungleichmässiger Temperatur, wenn die vorgefertigten Träger nur teilweise vorgespannt sind. Da die bekannten Berechnungsmethoden 5) 6) für Verbundkonstruktionen gleichbleibende Steifigkeit für Platte und Träger voraussetzen, sind sie in diesem Falle nicht anwendbar. Weitere Probleme sind bei Durchlaufsystemen die Schubverbindung zwischen Träger und Ortsbeton-Querträger über den Stützen und der Einfluss des Systemwechsels auf den Bruchnachweis.

Freivorbau.

Der Freivorbau ermöglicht die wirtschaftliche Herstellung grosser Spannweiten ohne Lehrgerüstabstützungen und ist deshalb das interessanteste Bauverfahren im Grossbrückenbau. Besonders geeignet für die Herstellung im Freivorbau sind Voutenträger mit Hohlkastenquerschnitt. Die günstige Massenverteilung (schwerer Querschnitt in Auflagernähe, leichter Querschnitt in Trägermitte) ergibt als statischen Vorteil minimale Stützmomente infolge Eigengewicht und die variable Trägerhöhe ermöglicht die durchgehend volle Ausnützung einer gegen die Trägermitte hin gleichmässig abgestuften Vorspannung.

Ortsbetonkonstruktionen mit grossen Spannweiten weisen bei diesem Bauverfahren vor allem folgende herstellungstechnische Vorteile auf:

- Relativ kleine Aufwendungen für das Vorbaugerüst
- Mehrfache Wiederverwendung der Schalung
- Lohneinsparungen durch taktmässige Wiederholung des gleichen Arbeitsvorganges.

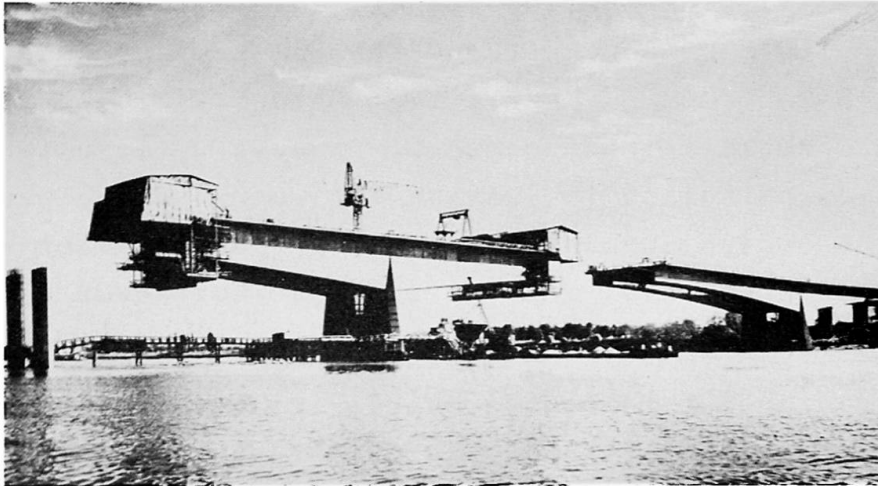


Bild II. Rhein - Brücke bei Bendorf. 7)
(Foto Stiebel, Koblenz)

Das schwierigste Problem beim Freivorbau ist die Gewährleistung der Brückennivellete, da der als Konsole hergestellte Träger äusserst verformungsempfindlich ist. Voraussetzung für die Berechnung der Ueberhöhungen ist die sorgfältige Bestimmung der Schnittkräfte aus Eigengewicht und Vorspannung und die genaue Kenntnis des zeitlichen Verlaufes der klimaabhängigen Materialeigenschaften (Elastizitätsmodul, Schwind- und Kriechbeiwerte) und Vorspannverluste. Ausserdem spielen auch die von der Armierung und Plattenstärke abhängigen, unterschiedlichen Schwind- und Kriechverformungen der oberen und unteren Hohlkastenplatten eine wesentliche Rolle. Da die Vorbauabschnitte im allgemeinen schon nach 2-3 Tagen vorgespannt und ausgerüstet werden, ist die Herstellungstemperatur von entscheidender Bedeutung für die Betonqualität bei Belastungsbeginn. Der spätere zeitliche Verlauf der Betoneigenschaften wird ebenfalls durch die saison- und standortbedingten klimatischen Verhältnisse (Luftfeuchtigkeit, Temperatur, Sonnenbestrahlung etc.) beeinflusst. Vorversuche zur Abklärung des elastischen und plastischen Verhaltens des Betons sind deshalb sehr aufwendig. Es wäre ausserordentlich wertvoll, wenn aus einem Versuchsprogramm an 3-7-tägigen Probekörpern - unter Berücksichtigung der zu erwartenden klimatischen Einflüsse - auf den gesamten zeitlichen Verlauf der Betoneigenschaften geschlossen werden könn-

te. Während der Trägerherstellung kann die Verformungsberechnung durch Messungen laufend überprüft und für die Ausführung der folgenden Etappen - wenn nötig - korrigiert werden. Die Kontrollmessungen werden zur Elimination des Einflusses unterschiedlicher Temperaturverhältnisse im Querschnitt vor Sonnenaufgang ausgeführt. Die besondere Schwierigkeit besteht aber in der Interpretation der Messungen bzw. in der richtigen Korrektur der zahlreichen Verformungsparameter.

Beim Betonieren der Vorbauabschnitte ist der Verformung des Gerüsts bzw. deren Korrektur grösste Aufmerksamkeit zu schenken. Bei grösseren Durchbiegungen während der Herstellung der Fahrbahnplatte können in den Abschnittsfugen Ablöserisse auftreten, die eine Verminderung der Schubtragfähigkeit zur Folge haben; ein Problem, das vor allem dann zu beachten ist, wenn die Spannlieder aus konstruktiven Gründen nur in der Fahrbahnplatte verankert werden.

Als statisches System wird bei Freivorbaubrücken entweder der Kragträger mit einem Gelenk in Feldmitte oder der Durchlaufträger verwendet. Die Ausführung als Kragträger ist konstruktiv und herstellungstechnisch einfacher, hat aber den wesentlichen Nachteil, dass die Verformungen durch einen Knick im Gelenk stärker in Erscheinung treten. Die Ausbildung der Querkraftgelenke in Feldmitte erfolgt neuerdings oft mit vorgespannten Betongelenken. Sie hat den Vorteil, dass der Belag ohne Unterbruch durchgezogen werden kann.

Eine interessante und bei sehr grossen Spannweiten wirtschaftliche Lösung besteht darin, dass der Mittelabschnitt in Leichtbeton hergestellt wird.

Wie bei den feldweise hergestellten Trägern stellt sich auch bei gelenklosen Freivorbau-Brücken das Problem der Kräfteumlagerungen durch den Systemwechsel und die damit zusammenhängenden Sicherheitsfragen.

Bei Brücken auf hohen Stützen ist die Ausführung von Vouten-Trägern aus ästhetischen Gründen im allgemeinen nicht erwünscht. Dem Parallel-Träger wird in diesem Fall der Vorzug gegeben. Bemerkenswerte Beispiele für die Ausführung von Parallel-Trägern im

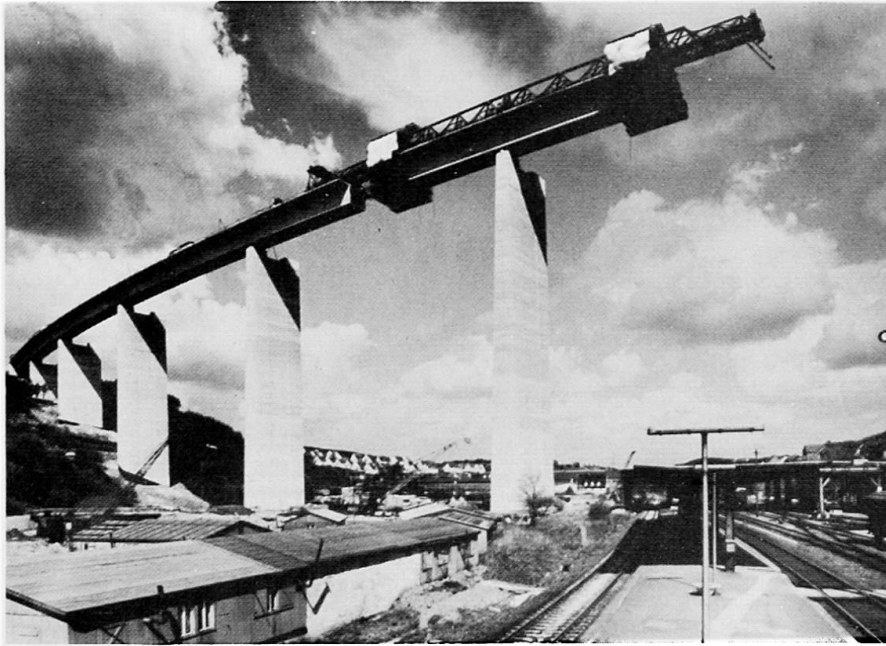


Bild 13. Siegtal-Brücke Eiserfeld. 8)
(Werkfoto Polensky & Zöllner)

Freivorbau sind die Siegtal-Brücke Eiserfeld und die Lahntal-Brücke bei Limburg in der Bundesrepublik Deutschland. Bei der Siegtal-Brücke wurde ein Gerüstträger verwendet, der zur Stabilisierung des auszuführenden Bauabschnittes und zur Aufhängung der Vorbauschalung diente. Der Vorbauabschnitt umfasste je eine halbe Feldlänge beiseits einer Stütze. Die grossen Vorteile dieses Verfahrens liegen darin, dass das Baumaterial immer über den fertiggestellten Teil der Brücke zutransportiert werden kann, dass der Gerüstträger ohne Ummontage in den nächsten Vorbauabschnitt vorgeschoben werden kann und dass zur Stabilisierung der

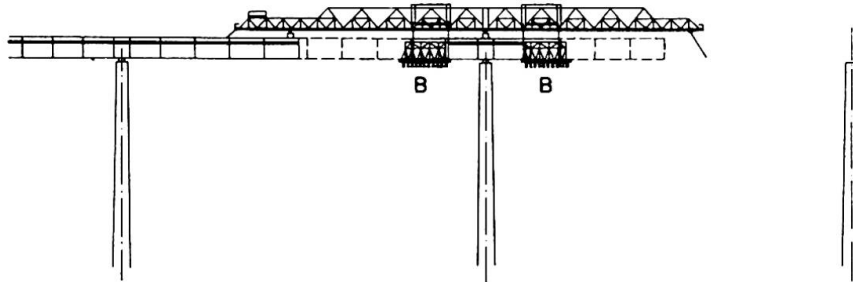


Bild 12. Rüstträger der Siegtal-Brücke, B = fahrbare Arbeitsbühnen

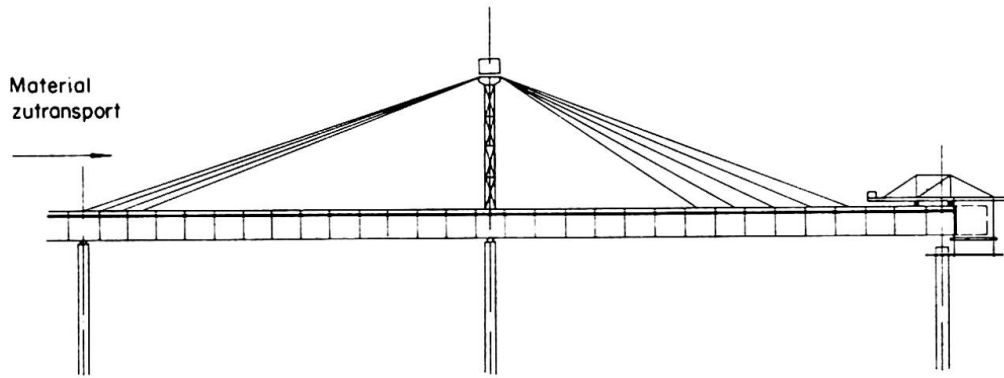


Bild 14. Freivorbau mit Abspannpylon

Vorbauabschnitte keine zusätzlichen Vorrichtungen erforderlich sind. Bei der Lahntal-Brücke Limburg wurde die ganze Feldlänge im Freivorbau erstellt 9). Zur Verminderung der Stützmomente war jedoch ein Abspannpylon erforderlich. Auch bei dieser Methode erübrigt sich eine Ummontage des Vorbaugerüsts und das Baumaterial kann ebenfalls immer über die fertige Brücke zu transportiert werden. Da die Stützenköpfe erst nach der Ausführung des unmittelbar darüber liegenden Trägerstückes fertiggestellt werden, erfährt der Vorbaurythmus überhaupt nie einen Unterbruch. Diese grossen Vorteile müssen allerdings auf Kosten der beträchtlichen Aufwendungen für das Erstellen und Ummontieren der Abspannpylone erkaufte werden.

Eine weitere Möglichkeit zur Herstellung von Parallelträgern im Freivorbau besteht darin, dass im Mittelabschnitt des Feldes auf eine Länge von 25-30 m ein Gerüst eingehängt wird. Im Hinblick auf die Momentenumlagerungen beim Systemwechsel ist es vorteilhaft, diesen Teil in Leichtbeton auszuführen und bereits nach dem Betonieren der Trägerrippen (ohne Fahrbahnplatte) teilweise vorzuspannen. Dieses Verfahren setzt allerdings voraus, dass die im Freivorbau erstellten Abschnitte des Trägers zum Beispiel durch Doppelstützen im Bauzustand einwandfrei stabilisiert sind.

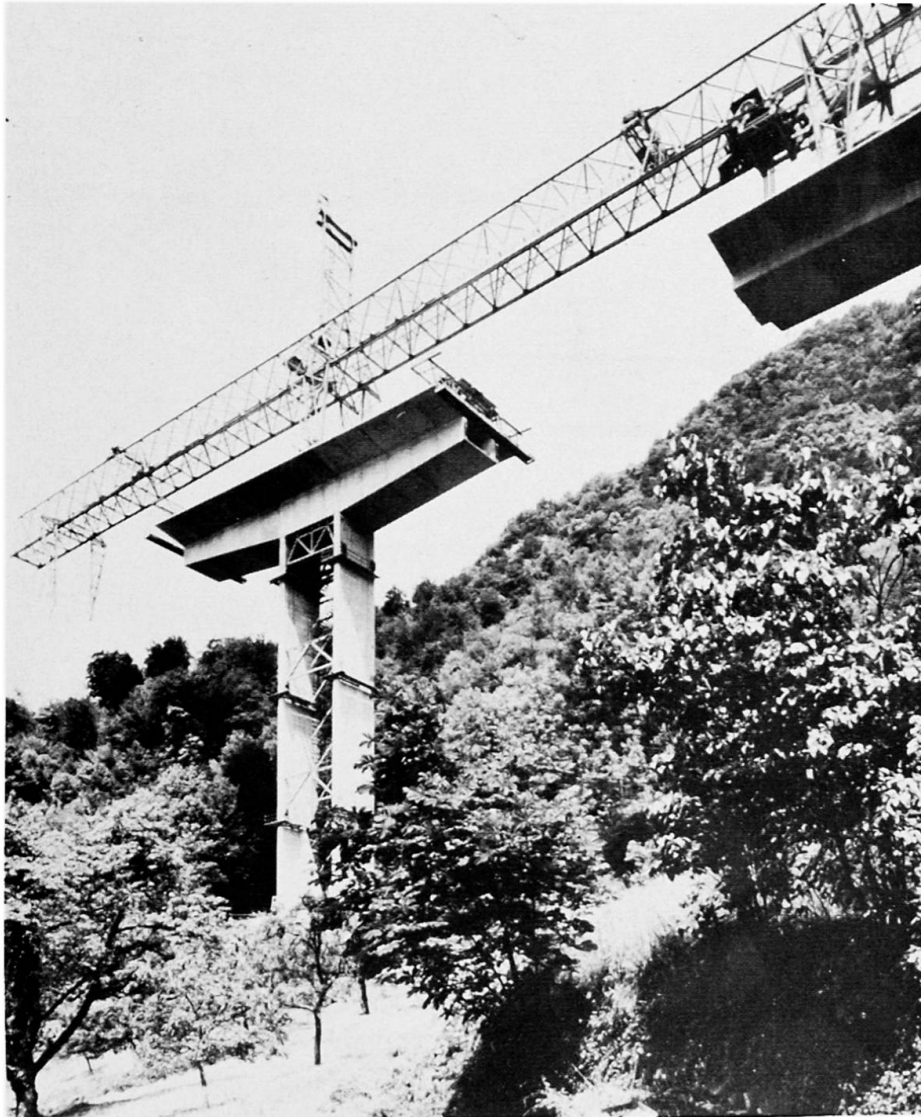


Bild 15. Viaducs de Chillon. 10) Nationalstrasse N9 Lausanne - Sion
(Foto Germond, Lausanne)

Beim Freivorbau in Vorfabrikation werden in einer zentralen Anlage Querschnittselemente hergestellt, die auf dem Wasser oder über die bereits fertiggestellte Brücke zum Einbauort transportiert werden. Ein spezielles Einbaugerät, das den gesamten Vorbauabschnitt überbrückt und sich auf dem fertiggestellten Träger und dem benachbarten Pfeiler abstützt, bringt die Querschnittselemente in die Einbauposition. Die Elementfugen werden mit einem Kunststoffmörtel versehen und nach dem Einziehen der Spannglieder in symmetrischer Reihenfolge an den Vorbauabschnitt an-

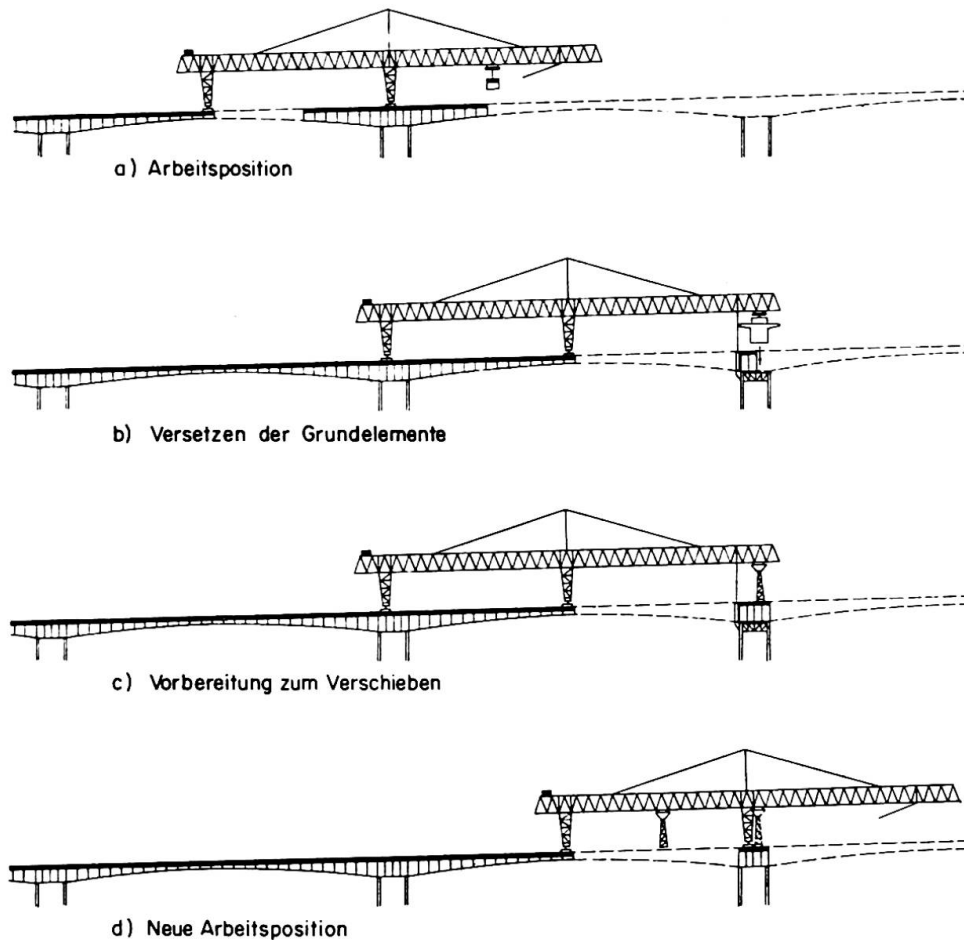


Bild 16. Viaducs de Chillon, Versetzgerät für die Querschnittselemente

gefügt. Wegen der grossen Aufwendungen für die Fertigungsanlagen ist dieses Verfahren nur bei sehr langen Brücken wirtschaftlich; es hat aber den Vorteil, dass die Vorbauabschnitte in ausserordentlich kurzer Zeit hergestellt werden können. Bei den "Viaducs de Chillon" wurden pro Monat bis zu 290 m Brückenlänge fertiggestellt.

Neben den vielfältigen Problemen bei der ausserordentlich genauen Herstellung der Elemente, (Vorausbestimmung der Verformungen, sehr genaue Fixierung der Basiselemente, (Korrekturfugen beim Vorbau sind sehr unerwünscht), besteht die Hauptschwierigkeit in der Ausbildung der geklebten Elementfugen und in der einwandfreien Abdichtung der Spanngliedkanäle in den Elementfu-

gen. Die exponierte Lage der Haupt-Spannglieder, die - in der Fahrbahnplatte angeordnet - unverroht die geklebten, unbewehrten Elementfugen durchziehen, erfordern eine einwandfreie, absolut wasserdichte Fahrbahnisolation. Ein weiteres Problem, das sich beim Freivorbau mit Fertigelementen stellt, ist die Sekundärbeanspruchung der Spannglieder in den Elementfugen. Bei zu geringer Längsvorspannung können durch lokale Beanspruchung der Fahrbahnplatte in den Fugen Knickwinkel entstehen, die in den Spanngliedern Zusatzbeanspruchungen auslösen.

Taktschiebeverfahren.

Ein neueres Verfahren, das ebenfalls Einsparungen an Gerüst- und Schalungsaufwand ermöglicht, ist das Taktschiebeverfahren. Vorläufer dieses Verfahrens sind die Ager-Brücke in Oesterreich und die Caroni-Brücke in Venezuela. Bei der Ager-Brücke 11) wurden fertige Querschnittselemente auf ein stationäres Gerüst eingeschoben, durch Ausbetonieren von 50 cm breiten Fugen miteinander verbunden und vorgespannt. Bei der Caroni-Brücke 12) wurde dagegen der gesamte Brückenträger hinter dem Widerlager betoniert, vorgespannt und dann gesamthaft eingeschoben. Beim Taktschiebeverfahren, wie es heute zum Beispiel bei

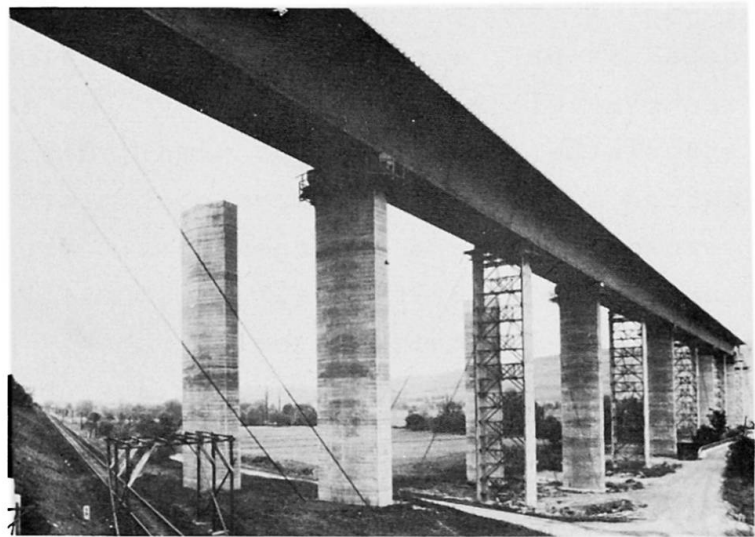


Bild 17/18. Taubertal - Brücke
(Werkfoto Beton- und Monierbau)

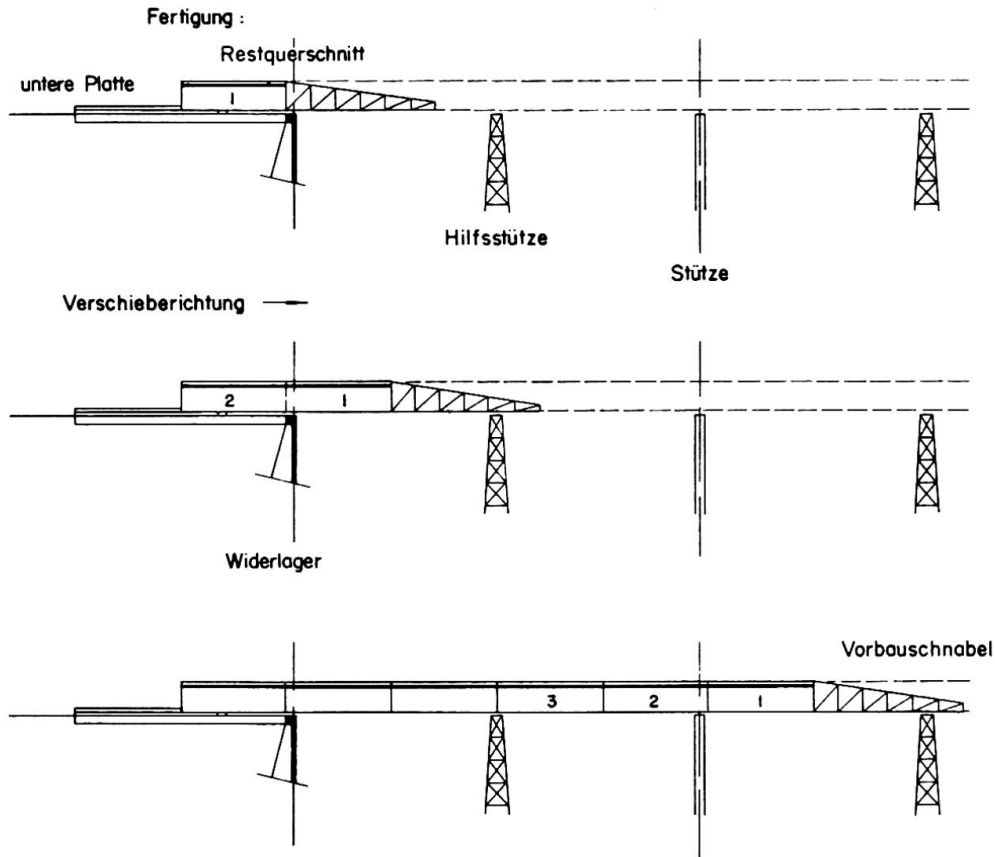


Bild 19. Taktschiebeverfahren

der Taubertal-Brücke 13) angewendet wird, werden unmittelbar hinter dem Brückenwiderlager 10-20 m lange Trägerabschnitte in einem fünftägigen Arbeitstakt hergestellt und nach einer Erhärtungszeit von 2 Tagen vorgeschoben. Die Aussenschalung bleibt dabei an Ort, während die Innenschalung des Kastenquerschnitts zunächst mitverschoben und nach dem Betonieren der unteren Kastenplatte zurückgefahren wird. Die einzelnen Trägerabschnitte werden monolithisch zusammenbetoniert und während des Verschiebevorganges zentrisch vorgespannt. Der Träger gleitet beim Widerlager und den Stützen auf Teflonplatten über Verschiebelager mit polierten Chromnickelstahl-Blechen. Die Verschiebepressen befinden sich beim Widerlager. Zur Abminderung der Kragmomente ist die Spitze des Trägers mit einem Vorbausechnabel verlängert. Bei grossen Spannweiten sind zudem Zwischenjoche erforderlich. Die Hauptvorspannung wird erst nach dem vollständigen Einschleiben des Trägers mit einem durchgehenden, konzentrierten Vorspannkabel aufgebracht.

Mit diesem Verfahren können selbstverständlich nur gerade bzw. im Grund- und Aufriss gleichmässig gekrümmte Brücken gebaut werden. Grösste Aufmerksamkeit ist bei der Anwendung des Taktschiebeverfahrens der genauen Lage der unteren Kastenplatte zu schenken. Die Betonierfläche muss absolut stabil sein und darf während des ganzen Bauvorganges keine Setzungen erfahren. Wie bei allen neuen Baumethoden spielen auch hier die mit der raschen Betoniererhärtingszeit zusammenhängenden Probleme eine wichtige Rolle.

Etappenweise Herstellung des Querschnitts.

Bei breiten Brücken ist es vorteilhaft, den Querschnitt in mehreren Etappen zu erstellen, da auch dieses Verfahren die Wiederverwendung von Gerüst und Schalung am gleichen Bauwerk ermög-

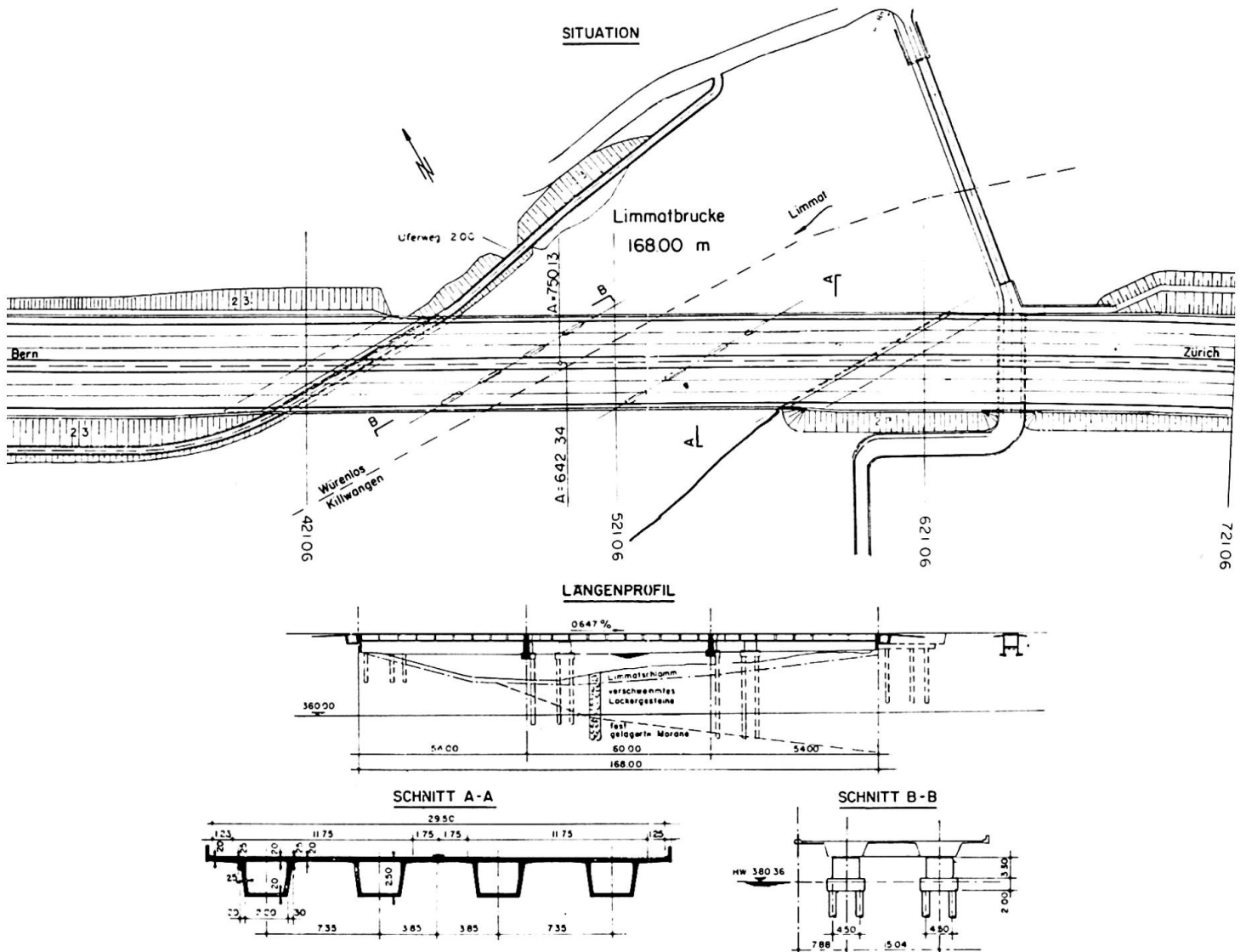


Bild 20. Limmat - Brücke Würenlos, Nationalstrasse N1 Zürich-Bern

licht. Für den Bau von Autobahn-Zwillingsbrücken wird normalerweise das Lehrgerüst querverschoben. Wenn die Fundationsverhältnisse jedoch sehr ungünstig sind, ist es wirtschaftlicher, anstelle des Gerüsts Teile des Brückenträgers zu verschieben. Bei der Limmat-Brücke Würenlos der Autobahn Zürich-Bern wurde in Anwendung dieses Verfahrens der gesamte Brückenquerschnitt in vier genau gleiche Hohlkastenträger aufgelöst. Diese Träger wurden nacheinander auf einem relativ schmalen Lehrgerüst mittelst einer längsverschieblichen Zugschalung in Elementen von ca. 15 m Länge betoniert. Nach dem Betonieren des Trägers wurden Spannkabel eingezogen und teilweise vorgespannt. Das Lehrgerüst konnte nun um wenige Zentimeter abgesenkt und der Träger auf einer über Pfeiler bzw. Widerlager verlaufenden Verschiebebahn in die endgültige Lage gebracht werden. Das Verfahren für die Trägerherstellung ist - die gleichen Schalungselemente konnten ca. 40-mal wiederverwendet werden - ausserordentlich rationell. Das Verschieben 170 m langer Träger mit sehr schiefen Auflagern und wechselndem Quergefälle erfordert jedoch umfangreiche Vorbereitungsarbeiten und eine aussergewöhnliche Sorgfalt und Genauigkeit.

Eine weitere Möglichkeit zur etappenweise Herstellung des Querschnitts besteht darin, dass weitausladende Konsolen erst nach dem Ausrüsten des Trägers betoniert werden. Dieses Verfahren weist folgende Vorteile auf: Das Gerüst muss nur für einen Drittel der Brückenbreite und etwa zwei Drittel des Trägergewichtes bemessen werden. Der Materialzutransport zur Herstellung der Konsolen erfolgt über die fertige Brücke direkt zum Verwendungsort. Die Konsolen werden auf einem relativ leichten, fahrbaren Gerüst im Taktverfahren hergestellt. Die Trägerhöhe kann, ohne die Aesthetik zu beeinträchtigen, sehr hoch gewählt werden und ermöglicht damit Einsparungen an Spannstahl. Bei der 26 m breiten Birs-Brücke der Nationalstrasse N 2 in Basel beträgt die Ausladung der Konsolen je 9 m. Mit dem fahrbaren Konsolgerüst konnten pro Woche beidseits je zweimal 4 m lange Konsolabschnitte (Plattenbalkenquerschnitt in Ortsbeton) hergestellt werden. Das Verfahren ist sehr wirtschaftlich und hat sich ausgezeichnet bewährt.

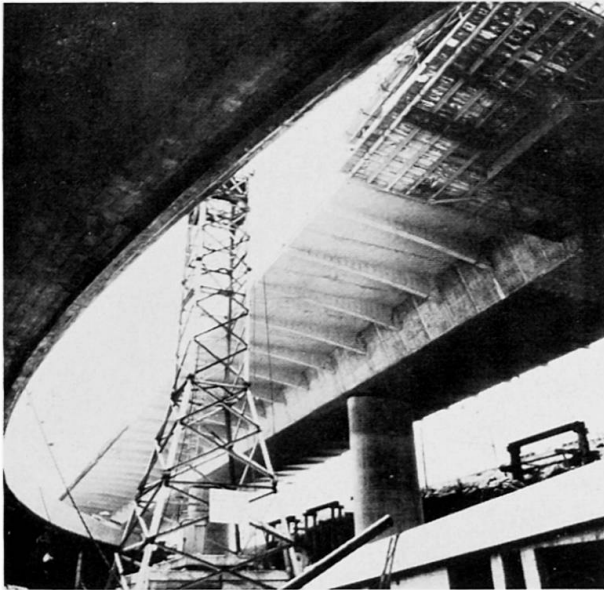


Bild 21/22. Birs-Brücke, Basel Nationalstrasse N2
(Foto Hoffmann, Basel)

Das wichtigste Problem dieser Methode ist das Zusammenwirken der nachträglich betonierten Konsolen mit dem bereits vorgespannten und ausgerüsteten Träger. Im übrigen spielen auch hier - wie bei allen anderen Herstellungsverfahren - die Beton-eigenschaften im Frühstadium eine wesentliche Rolle.

Literatur-Verzeichnis

- 1) Wittfoth, H.: Die Krahenbergbrücke bei Andernach
Beton- und Stahlbetonbau 1964, H. 7 u. 8
- 2) Thul, H.: Internationaler Spannbeton-Kongress
Brückenbau. Vorlandbrücke Obereisesheim
Beton- und Stahlbetonbau 1966, H. 5
- 3) Mayer, L.: Talbrücke Sechshelden, Konstruktion und Herstellung
Beton- und Stahlbetonbau 1969, H. 4
- 4) Lessing, A.: Brücke Welkers. Vorträge Betontag 1969
Deutscher Beton-Verein E.V.
- 5) Sattler, K.: Theorie der Verbundkonstruktionen, 2. Aufl.
Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1969
- 6) Birkenmayer, M.: Berechnung von Verbundkonstruktionen aus
Beton und Stahl.
Verlag Lesmann, Zürich 1969

- 7) Finsterwalder, U. und Schambeck, H.:
Die Spannbetonbrücke über den Rhein bei Bendorf,
Los I
Beton- und Stahlbetonbau 1965, H. 3
- 8) Wittfoth, H.: Die Autobahnbrücke über das Siegtal in
Siegen-Eiserfeld.
Bauingenieur 1966, H. 2
- 9) Henne, W. und Bay H.:
Der Bau der Autobahnbrücke über die Lahn
bei Limburg.
Bauingenieur 1965, H. 3
- 10) Piguet, J.C. und Hofer, R.:
Viaducs de Chillon
Strasse und Verkehr 1967, H. 7
- 11) Leonhardt, F. und Baur, W.:
Die Ager-Brücke, eine aus Gross-Fertigteilen
zusammengesetzte Spannbetonbrücke.
Bautechnik 1963, H. 7
- 12) Leonhardt, F. und Baur, W.:
Brücke über den Rio Caroni, Venezuela.
Beton- und Stahlbetonbau 1966, H. 2
- 13) Thul, H.: Internationaler Spannbeton-Kongress
Brückenbau. Taubertal-Brücke.
Beton- und Stahlbetonbau 1970, H. 5
- 14) Woywod, E.: Der Brückenbau für die Nationalstrassen
Der Aargau baut, Nr. 3
Verlag Aargauer Tagblatt, Aarau 1968

Zusammenfassung

Einleitend werden kurz die verschiedenen Gesichtspunkte erörtert, die bei der Projektierung einer Brücke zu berücksichtigen sind. Der folgende Abschnitt befasst sich mit den Faktoren, die in den letzten Jahren massgeblich zur Entwicklung der Brückenbau-Technik beigetragen haben und zeigt, dass die effektiven Baukosten vor allem durch die direkte Zusammenarbeit von Projektverfasser und ausführenden Unternehmung gesenkt werden konnten. Im Hauptkapitel werden anhand von Beispielen die modernen Baumethoden und die damit zusammenhängenden und am Kongress zu diskutierenden Probleme beschrieben.

Résumé

On situe pour commencer les différents points de vue entrant en ligne de compte pour la conception d'un pont. Le chapitre suivant traite des facteurs essentiels qui ont contribué ces dernières années au développement de la technique de la construction des ponts et montre que les coûts d'exécution pourraient être réduits, avant tout par une collaboration étroite entre l'auteur du projet et l'entreprise chargée des travaux. A l'aide d'exemples, on décrit dans le chapitre principal les méthodes modernes de construction, ainsi que les problèmes s'y rattachant qui seront discutés lors du congrès.

Summary

In the introduction the different aspects that have to be considered for the design of a bridge are mentioned. The following paragraph deals with the factors that contributed to the development the technique of bridge-building during the last few years and shows that effective building costs could be lowered by means of a direct cooperation of the structural engineer and the contractor. The main paragraph describes, with reference to several examples, the modern construction methods and the resulting problems that will be discussed during the congress.

Leere Seite
Blank page
Page vide