

Innovativer und nachhaltiger Ersatzneubau von Betonbrücken

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 155

The logo consists of the word "bast" in a bold, lowercase, green sans-serif font. The letters are slightly shadowed, giving it a 3D appearance. The logo is positioned in the bottom right corner of the page, partially overlapping the vertical white line.

Innovativer und nachhaltiger Ersatzneubau von Betonbrücken

von

Andreas Wirker
Ralf Donner

WKP Planungsbüro für Bauwesen GmbH
Dresden

beratende Partner:

Holger Flederer
Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden
Fakultät Bauingenieurwesen/Architektur
Professur Brücken- und Ingenieurbau
Leiter Labor Konstruktiver Ingenieurbau

Thomas Bösche
Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden
Fakultät Bauingenieurwesen/Architektur
Professur Massivbau

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 155

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M - Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Ed. Schünemann KG, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

Die Berichte der **Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)** stehen zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung.
<https://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 15.0596
Innovativer und nachhaltiger Ersatzneubau von Betonbrücken

Fachbetreuung
Dieter von Weschpfennig

Referat
Betonbau

Herausgeber
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0

Redaktion
Stabsstelle Presse und Kommunikation

Druck und Verlag
Fachverlag NW in der
Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9293
ISBN 978-3-95606-526-2

Bergisch Gladbach, September 2020

Kurzfassung – Abstract

Innovativer und nachhaltiger Ersatzneubau von Betonbrücken

Verursacht durch die alternde Bausubstanz, den kontinuierlich gestiegenen Schwerlastverkehr, in Verbindung mit vorhandenen Defiziten bestehender Straßenbrücken, wird der Ersatzneubau zunehmend an Bedeutung gewinnen. Die Umsetzung von Ersatzneubauten verursacht gegenwärtig starke Verkehrsbeeinträchtigungen, da diese in aller Regel vor Ort am vorhandenen Brückenstandort hergestellt werden.

In dem vorliegenden Projekt wurden neben der Darstellung des gegenwärtigen Vorgehens für den Ersatzneubau von Betonbrücken schwerpunktmäßig innovative und nachhaltige Bauweisen und Bauverfahren entwickelt, welche die Verkehrseinschränkungen und die Bauzeit am Bauwerksstandort stark verkürzen. Es erfolgte dabei die Betrachtung der vier auf deutschen Autobahnen am häufigsten realisierten Systeme: Rahmen bis 30 m Stützweite, Einfeldbauwerke mit einer Gesamtlänge zwischen 10 m – 30 m, Zweifeldbauwerke mit einer Gesamtlänge bis 70 m und Dreifeldbauwerke mit einer Gesamtlänge von bis zu 100 m.

Das derzeitige Vorgehen wurde mit den innovativen Ansätzen über eine Bewertungsmatrix, auch unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeit verglichen und entsprechende Vorzugslösungen herausgearbeitet.

Für die vier Tragsysteme wurden auf Grundlage der bewerteten Varianten Bauweisen und Verfahren ausgewählt und daraus Konzepte für die Realisierung erarbeitet. Im Einzelnen ist für jedes Tragsystem ein Konzept in Form eines Bauwerksentwurfes entwickelt worden. Im Ergebnis der Konzeptbearbeitung ist festzustellen, dass durch Modularisierung der Bauwerke und Verlagerung der Fertigung in ein Fertigteilwerk und der Einsatz von geeigneten Bauverfahren, wie dem Schubverfahren, die Verkehrseinschränkungen in einem erheblichen Maß reduziert werden können. Gleichzeitig führt die Verringerung der Verkehrseinschränkung auch dazu, dass die durch baustellenbedingte Staus verursachten CO₂-Emissionen erheblich reduziert werden können.

Innovative and sustainable replacement construction of concrete bridges

New construction for replacing the existing construction is becoming increasingly important due to the ageing of structures, the ever-growing heavy traffic combined with the shortage of existing road bridges. The implementation of new construction is currently causing severe traffic disruptions, as these are usually fabricated on-site at the existing location of the bridge.

This project focused on developing innovative and sustainable construction methods and processes in addition to discussing the current approach for replacing concrete bridges, which significantly reduce the traffic restrictions and the construction time at the site. The four systems mostly implemented on German highways were considered in the process: Frames with a span of up to 30 m, single-span structures with a total length between 10 m – 30 m, two-span structures with a total length up to 70 m and three span structures with an overall length of up to 100 m.

The current approach was compared with the innovative approaches using an evaluation matrix, taking into account the sustainability, and preferred solutions were worked out.

For the four structural systems, construction methods and processes were selected based on the evaluated options and concepts were worked out for implementation. Specifically, one concept has been developed in the form of a construction draft for each structural system. As a result of working on the concept, it can be noted that traffic restrictions can be considerably reduced by modularisation of structures and shifting the production to a pre-fabrication plant and using appropriate construction methods, such as the shifting method. At the same time, the reduction in traffic restriction will also result in lowering the CO₂ emissions caused by the site-related jams.

Summary

Innovative and sustainable replacement construction of concrete bridges

1 Objective of the research project

New construction for replacing the existing construction is becoming increasingly important due to the ageing of structures, the ever-growing heavy traffic combined with the shortage of existing road bridges. The realisation of replacement constructions is currently causing severe traffic disruptions, as these are usually fabricated on-site at the existing location of the bridge. The type of construction-related traffic management is always selected depending on the project in coordination with the construction planning departments and transport authorities, and depends on the location of the site in the existing road network.

In general, one-piece structures for road construction are fabricated at the future location where it will be used by blocking the site completely or next to the existing construction by providing a temporary detour around the construction site. Constructions with split superstructures (e.g., of national highways) are done in the final position. The restoration of the partial structures is carried out one after the other by blocking the respective lane. On the whole, the current approach results in significant traffic restrictions in terms of traffic flow and detour distances as well as extended durations for the construction at the location of the bridge.

The objective of this research project is to work out approaches to minimise the construction time and traffic restrictions during the replacement construction of road bridges. This objective is to be achieved by using new construction techniques and methods. In particular, this involves innovative approaches. The processing is at the object level, i.e. at the level of the individual construction. In this case, four structural systems are considered. A frame structure with a span of up to 30 m, a single-span system with a total length between 10 m to 30 m, a two-span system with a total length up to 70 m and a three-span system with a total length up to 100 m. During the processing, the constraints are

noted that the structures will overpass highways and that the substructures will be replaced.

2 Methodical approach

2.1 Planning stages

To achieve the objectives, the project was planned in steps.

The individual steps are shown in the form of the following sections.

Section 1

The first section shows the analysis of the current approach for replacing bridge structures. In doing so, actual construction methods and processes used for replacing the structures are listed in detail just like in pre-planning and the availability of the structure during the measure is analysed for the structural systems being considered. The dismantling process of existing construction is also considered here. This section also involves the road construction authorities of the federal states in order to show a realistic cross-section of the current practical approach.

Section 2

In the second step, innovative construction processes and methods for the replacement structure are discussed with the same level of detail as the previous stage and implementation concepts are described. For the new approach, the technical feasibility and deviations from the standard construction methods are examined and ascertained, and the consequent time restrictions on availability during the construction are listed.

The risks associated with the new approach are identified and evaluated.

Section 3

After completing the first two steps, the current approach and the innovative approaches are compared. In the comparative analysis, an evaluation matrix is used which shows the focus of the task on hand. In particular, these are the construction time and the space required in the final position, the traffic restriction on the roads above or below, the space required for fabrication, the level

of prefabrication, the efficiency, the co-processing of the existing construction and dismantling processes, as well as the sustainability. The comparative analysis shows the potential in terms of minimising the traffic restrictions and reducing the construction time.

Section 4

For the four structural systems, construction methods and procedures were selected based on the evaluated options, using which concepts have been worked out for implementing specific new constructions to replace existing structures. As a result of these concepts, potential benefits in terms of construction time and traffic restrictions are worked out, deviations from applicable rules are indicated and evaluated in comparison to standard methods. The conclusion of the fourth section presents the cost estimate for the innovative approaches and standard approaches, including a comparison.

3 Results

The consideration and representation of the present approach showed that the construction of new replacement structures is mostly carried out at the location of the bridge. This results in a number of disadvantages. The biggest disadvantage is certainly that the replacement of the structure has a huge impact on the concerned roads. By implementing measures, the traffic is combined on one lane of the road, which reduced the cross-section of the road and greatly restricts it. Likewise, appropriate speed restrictions are required at the construction site and fabrication area for road safety reasons. Since a large part of the highways is already very busy, this means that the construction will result in traffic jams on the concerned roads and possibly in the adjacent alternative routes.

The second disadvantage that needs to be mentioned is that the structures are built on-site according to individual needs. There is no standardisation. The use of prefabricated elements is limited to the pre-stressed concrete T-beams and composite pre-fabricated beams for the superstructures. This means that although one can take in account all the eventualities arising at the site during the construction, it is associated with a very long and especially weather-dependent fabrication

of the structure. At the same time, one has to assume that the execution quality will be worse compared to the use of prefabricated structures.

The current approach has advantages as well. From a purely structural perspective, the current approaches have been used and proven for decades and have been improved step by step. By fabricating locally, sturdy monolithic structures can be created that can be optimally adjusted to the respective local situation.

The second section presents and discusses the innovative approaches for replacing existing bridge structures with new ones in terms of construction and construction methods. Innovative approaches have been separately shown for the substructures, superstructures and caps.

Its aim was to answer the question, as to how the conventional construction methods can be modified or redesigned to reduce the construction time at the site. One option is to modularise the components of a bridge – dividing the whole into parts – in order to shift the fabrication of these parts to a pre-fabrication plant. These parts are then simply assembled at the construction site. Basically, there is a need to distinguish whether fully or partially pre-fabricated solutions with on-site additions, such as addition of concrete on-site for the joint area or an entire surface have to be fabricated. The different versions addressed this question in their own way.

For the fabrication of substructures, a total of eight different construction methods were shown. Starting from the modular composition of the abutment by reinforced concrete block stones with concrete added at the back, the shell construction with semi-fabricated parts and filled with concrete at the site and preparing the abutments when constructing the reinforced earth. Three versions treat the different ways of preparing the abutment with reinforced concrete box sections. With this method of construction, abutment can be prepared in the form of box abutments, where box elements are stacked over one another or intermediate elements are fabricated using concrete slab infills. But the construction of elevated and raised abutments is thus also possible. The construction method of reinforced concrete solid sections in sleeve foundations which is still used abroad and was used in Germany in the past, was also investigated for the fabrication of abutments and pier components. In addition, the possibilities of fabricating an

abutment using prefabricated parts in the form of angle support elements, were shown.

Six different approaches were identified for constructing the superstructure.

Different versions of longitudinal pre-fabricated beams were considered that differ in the manner in which they are connected with each other in the transverse direction and in which cross-sectional shape they are to be formed. The force-fit coupling in the transverse direction can be established by the pre-stress in transverse direction, but the joint can also be fabricated using a mortar lock. For each longitudinal beam, reinforced concrete T-beams, I-shaped sections, composite steel plate beams, pre-stressed concrete box sections and pre-stressed concrete plates with concreted hollow elements, were considered. A determining factor for these versions, was how the longitudinal joint has to be fabricated between the individual beams and how and what tolerances are allowed, or how and using what measures they can be met. Essentially, the superstructures of this method of construction should be fabricated without adding concrete on-site, with the result that while avoiding cumbersome joining measures only single-span beams or single-span beam chains can be fabricated. Concrete has to be added on-site for these versions to fabricate continuous structures. An exception here is the steel composite section. This can be joined using bolts. Another way to fabricate the superstructure using prefabricated elements is to prepare a composite steel cross-section and placing pre-stressed concrete plate elements subsequently. In this option, the plate elements and the steel beams are fabricated separately. The plate strips are placed transversely on the steel beams only at the site. These elements can also be joined by pouring cylindrical grouting holes or by casting a joining channel that opens upwards. But it is also possible to fabricate a joining channel by injecting. Here the joining channel is filled, similar to compressing the pre-stressed concrete cladding. But further research is needed for this method.

A significant time factor in fabricating bridge structures is the construction of the cap. For this reason, five versions were considered for fabricating the caps. One option is to manufacture the caps using pre-fabricated parts and place it on the superstructure. It is then anchored to the structure using anchoring bolts on the cornice end. A slightly modified version is that the pre-fabricated cap part

is not joined to the superstructure using an anchor bolt but using a steel / steel butt joint. The advantage of this is that work is not required on the cornice end, which could be a reason for excluding the previous version in case of adjacent structures. Another option that is used abroad is to fabricate the superstructure with a cornice curb and to provide a cap plate on the inside, on which the guard is then mounted. In all three versions, it is necessary to the install an anchoring element to absorb the tilting moments acting on the cap.

The fourth option is an optimal approach. In this case, the cap is removed and a cornice curb is constructed with the bridge longitudinal beam. The road surface is brought up to the cornice. The guard is fabricated by setting up a concrete protective wall at a distance from the effective area in front of the cornice. In contrast to the previous approaches, this does not have any rigid joint with the cap or the superstructure. The force is applied to the structure via friction forces which are introduced by lateral displacement of the concrete protective wall. For this option, the actual force transmission of the horizontal and vertical forces is yet to be determined in tests. The repair interval of the cornice has to be increased to that of the superstructure by appropriate selection of the building material in the curb area. This solution can be varied considering the guard. If you want to do away with the protective concrete wall, it is also possible, for example, to concrete the supports of a steel guard in the cornice. Such solutions are being used in other European countries for many years.

In addition to the various innovative construction methods, it is also possible to reduce the traffic restrictions when constructing the structure by using construction methods. By using the shifting method, structures or parts pre-fabricated on the side can be moved to their final position. The traffic restrictions will be reduced significantly since the prefabrication mostly takes place without traffic restrictions. At the same time, however, sufficient space has to be available in order to use such techniques. Likewise, moving components or structures prefabricated on the side using heavy-duty modules is a good option to reduce the construction time on-site. Lifting of entire structures is also an option to reduce construction time in the final position, but the use of this method is greatly restricted by the weight of the bridge structure. Therefore, the use of this method is restricted to lifting sub-assemblies and individual

pre-fabricated parts, but it represents an elementary method.

Basically, the possible construction methods and construction processes can be comparable with a modular system, for which the respective structures can be freely combined according to the local conditions for the substructures and superstructures as well as the method being used. This is advantageous compared to a purely reference solution for an application, because it achieves a certain general applicability for various situations and structures.

By comparing the present approach with the innovative approaches using an evaluation matrix, preferred solutions could be worked out. The sustainability was incorporated in the evaluation process by considering the five pillars of sustainability (ecological quality, economical quality, socio-cultural and functional quality, technical quality, process quality). Likewise, the external costs in implementing bridge structures were shown by considering possible economical and ecological costs. As a result, it can be seen that the external costs represent a significant part in implementing bridge structures according to the conventional approach, but were not visible till now in the project costing. Finally, structures and construction methods where the traffic restriction for the construction period can be reduced, are economically advantageous and sustainable for the common good. With regard to the reduction of construction time, the comparison showed that there is a huge reduction potential in using the innovative solutions for the substructures and the cornice curb solution with a protective concrete wall before it, because it eliminates the cap fabrication step. The fabrication of superstructures showed significant advantages in terms of construction time when compared to the conventional on-site concrete construction method. When compared with the known construction method of using pre-fabricated beams, the advantage is correspondingly lesser.

For the four structural systems being considered, construction methods and procedures were selected based on the evaluated options, using which concepts have been worked out for implementation. Specifically, one concept has been developed in the form of a construction draft for each structural system.

Thus, the method of the lateral prefabrication and lateral shifting of the structure using the fluid method

is considered for the frame structure with a span of up to 30 m. The innovative approaches of the pre-stressed concrete elements without cap with cornice curb are used for the superstructure, since a corresponding time advantage can be achieved even by prefabrication at the side, which ultimately reduces the overall construction time.

For the single-span system, a version has been considered for shorter structures with a span up to 20 m in order to work out the differences from the other structures. For the substructures, a version of the prefabricated angle support elements has been considered. As a superstructure version, the fully prefabricated option of pre-stressed concrete plate with concreted hollow elements was implemented in planning.

The two-span system with a total length of up to 70 m was constructed with full cross-sectional substructures in sleeve foundations and for the superstructure, the steel composite section with plate attached subsequently.

The longest of the structures being considered, the three-span system of a total length of up to 100 m is planned with substructures of hollow box design with elevated abutment and a superstructure in the steel composite section with concrete addition on-site.

The method of cornice curb was used in all the structural systems because this solution eliminates the need for a cap as a separate component. By appropriate selection of construction materials, the cornice curb requires less frequent repairs, which in turn also reduces the traffic restrictions when using the structure. At the same time, this promotes the sustainability of the bridge structures.

As a result of working on the concept and comparison with the conventional approach, it is to be noted that traffic restrictions can be reduced between 40% and 66% by using the innovative construction methods and processes and that the solutions thus meet the project objective. A substantial increase in construction costs by using the innovative methods of construction could not be seen in the cost estimate. However, it should be noted that higher construction prices have to be assumed when using the innovative approaches initially, because the construction companies will calculate appropriate risk premiums for the new approach. At the same time, the reduction in traffic restriction will result in lowering the CO₂ emissions caused by the site-related jams.

4 Conclusion

The construction methods and processes discussed when considering the versions and used when implementing the concepts, have shown that by using a smart combination of the individual options when replacing old structures, it is possible to save construction time significantly in the future location of use. Consequently, the traffic restrictions can also be significantly reduced. Many of the discussed solutions are already substantially covered by specifications and regulations and calculations are largely available, which means that the individual options can be immediately used. However, separate specifications by defining the tolerance requirements and guidelines have to be developed for internal quality assurance for the pre-fabricated method of construction with small joint gaps. Similarly, calculations for fatigue strength of dry joints are yet to be developed. Research is still needed for the injected joint method. In addition, the manufacturing process should be accompanied by an external production control, which is carried out regardless of the contractual completion of the construction project. These measures can ensure high-quality fabrication of bridge structures and ensure a long service life of the structures.

In order to be prepared for future projects involving the replacement of old bridge structures and counteract the already existing problems with long construction times and associated traffic restrictions, pilot projects will first be implemented using the identified innovative construction methods and processes, to prepare the construction companies for the changed requirements and, at the same time, to call for the readiness of all the stakeholders for using the pre-fabricated method of construction.

Inhalt

1	Einleitung	13	3.4.2 Variante UB 2 – Schalenbauweise mit Halbfertigteilen und Vollquerschnitt-ergänzungen	23
1.1	Veranlassung	13	3.4.3 Variante UB 3 – Widerlager aus bewehrter Erde mit Auflagerfertigteil ..	25
1.2	Zielsetzung	13	3.4.4 Variante UB 4 – Stahlbetonhohlquerschnitt mit Betonplattenausfachung.	27
1.3	Wirtschaftliche, wissenschaftliche und technische Bedeutung	13	3.4.5 Variante UB 5 – Stahlbetonhohlquerschnitt – aufgeständertes Widerlager	29
1.4	Vorgehensweise	13	3.4.6 Variante UB 6 – Stahlbetonhohlquerschnitt – hochgesetztes Widerlager	31
1.4.1	Bearbeitungsstufen	13	3.4.7 Variante UB 7 – Stahlbetonvollquerschnitt in Köcherfundamenten.	32
2	Darstellung des derzeitiges Vorgehens	14	3.4.8 Variante UB 8 – Winkelstützelemente als Widerlagerfertigteil	36
2.1	Referenzbauwerke	14	3.5 Überbauten	37
2.1.1	Allgemeines	14	3.5.1 Variante ÜB 1 – Spannbetonhohlkästen verlegt als Trägerschar	37
2.1.2	Brückenbestand in Deutschland.	14	3.5.2 Variante ÜB 2 – Spannbetonquerschnitt in Plattenbalken- oder I-Trägerform verlegt als Trägerschar.	40
2.1.3	Bevorzugte Überbaubauweisen im betreffenden Stützweitenbereich	15	3.5.3 Variante ÜB 3 – Stahlverbundplattenbalken verlegt als Trägerschar	43
2.1.4	Querschnitt	16	3.5.4 Variante ÜB 4 – Stahlverbundplattenbalken mit nachträglich aufgesetzter längs vorgespannter Platte.	46
2.1.5	Bauwerk 1 – Rahmen mit bis zu 30 m Stützweite	16	3.5.5 Variante ÜB 5 – Spannbetonplatten mit einbetonierten Hohlkörpern verlegt als Trägerschar.	50
2.1.6	Bauwerk 2 – Einfeldsystem mit einer Gesamtlänge von 10 m – 30 m	16	3.5.6 Variante ÜB 6 – Variante ÜB 1, 2, 3 und 5 mit Ortbetonergänzung ohne Kappe	53
2.1.7	Bauwerk 3 – Zweifeldsystem mit einer Gesamtlänge von bis zu 70 m	16	3.6 Kappen	55
2.1.8	Bauwerk 4 – Dreifeldsystem mit einer Gesamtlänge von bis zu 100 m	17	3.6.1 Variante K 1 – aufgesetzte Kappe mit Verankerung im Gesimsbereich ...	55
2.2	Derzeitiges praktisches Vorgehen bei der bauliche Umsetzung von Ersatzneubauten	17	3.6.2 Variante K 2 – aufgesetzte Kappe mit Stahlanschlag	56
2.3	Bewertung des derzeitigen Vorgehens	18	3.6.3 Variante K 3 – Gesimsaufkantung mit vorgelegter Kappenplatte	57
3	Darstellung von innovativen Bauweisen	19		
3.1	Allgemeines	19		
3.2	Probleme der DDR-Fertigteilbrücken.	20		
3.3	Übersicht	21		
3.4	Unterbauten	21		
3.4.1	Variante UB 1 – Modulbauweise mit Blocksteinen und rückseitiger Ortbetonschale	21		

3.6.4	Variante K 4 – Gesimsaufkantung mit vorgestellter Betonschutzwand (BSW)	58	5.2.3	Ökologische und volkswirtschaftliche Potenziale der innovativen Bauweisen und Bauverfahren in Hinblick der Bauzeitreduzierung und Reduzierung der Verkehrseinschränkungen	75
3.6.5	Variante K 5 – Gesimsaufkantung mit aufgesetzter Schutzeinrichtung	61	5.2.4	Auswahl, der weiter zu betrachtenden Varianten	78
4	Darstellung von innovativen Bauverfahren	62	6	Erstellen von Konzepten für die Realisierung	79
4.1	Allgemeines	62	6.1	Allgemeines	79
4.2	Verschubverfahren	62	6.2	Bauwerk 1 – Rahmen mit bis zu 30 m Stützweite	79
4.2.1	Allgemeines	62	6.2.1	Allgemeine Objektbeschreibung	79
4.2.2	Variante 1 – Fluidverfahren	62	6.2.2	Bodenverhältnisse, Gründung	80
4.2.3	Weitere Verfahren nach Ril 804.9040 A03, Kapitel 3 [24].	63	6.2.3	Unterbauten	80
4.2.4	Anwendung für unsere Referenzbauwerke	64	6.2.4	Überbau	82
4.2.5	Vorteile	67	6.2.5	Entwässerung	83
4.2.6	Nachteile	67	6.2.6	Rückhaltesysteme, Schutzeinrichtungen	84
4.3	Einfahren von Bauwerken	67	6.2.7	Zugänglichkeit der Konstruktionsteile	85
4.3.1	Vorteile	68	6.2.8	Herstellung Bauzeit	85
4.3.2	Nachteile	68	6.2.9	Baukostenschätzung und Kostenvergleich zwischen Standard- und innovativen Vorgehen	87
4.4	Einheben von Bauwerken	68	6.2.10	Abweichungen zum Regelwerk	89
5	Vergleichende Gegenüberstellung des derzeitigen Vorgehens und der innovativen Ansätze	69	6.2.11	Bewertung des Realisierungskonzeptes	89
5.1	Darstellung des Grobbauablaufes einschließlich Bauzeitenvergleich	69	6.3	Bauwerk 2 – Einfeldsystem mit einer Gesamtlänge von 10 m – 30 m	90
5.1.1	Allgemeines	69	6.3.1	Allgemeine Objektbeschreibung	90
5.1.2	Verkehrsführung während der Bauzeit	69	6.3.2	Bodenverhältnisse, Gründung	91
5.1.3	Systematik und Vorgehen	70	6.3.3	Unterbauten	91
5.1.4	Vorlaufarbeiten	70	6.3.4	Überbau	92
5.1.5	Unterbauten	71	6.3.5	Entwässerung; Rückhaltesysteme, Schutzeinrichtungen und Zugänglichkeit	98
5.1.6	Überbauten	71	6.3.6	Herstellung Bauzeit	98
5.1.7	Nachlaufarbeiten	72	6.3.7	Baukostenschätzung und Kostenvergleich zwischen Standard- und innovativen Vorgehen	100
5.1.8	Bauzeitenvergleich	72			
5.2	Variantenvergleich	72			
5.2.1	Vorstellung der Bewertungsmatrix	72			
5.2.2	Variantenbewertung einschließlich Variantenvergleich	74			

6.3.8	Abweichungen zum Regelwerk	101	7	Konsequenzen für die Anwendung der Fertigteilbauweise – Qualitätssicherung, Fertigungsüberwachung, Toleranzen und zerstörungsfreie Prüfung	121
6.3.9	Bewertung des Realisierungskonzeptes	101			
6.4	Bauwerk 3 – Zweifeldsystem mit einer Gesamtlänge von bis zu 70 m	102	8	Anwendungsmöglichkeiten der Bauweise und Bauverfahren bei alleiniger Erneuerung der Unterbauten	122
6.4.1	Allgemeine Objektbeschreibung	102			
6.4.2	Gründung	103			
6.4.3	Unterbauten	104			
6.4.4	Überbau	105	9	Zusammenfassung und Ausblick	123
6.4.5	Entwässerung; Rückhaltesysteme, Schutzeinrichtungen und Zugänglichkeit	107	10	Nutzung bestehender Erfindungen, Schutzrechte und eigene Erfindungen, Schutzrechte	124
6.4.6	Herstellung Bauzeit	107			
6.4.7	Baukostenschätzung und Kostenvergleich zwischen Standard- und innovativen Vorgehen	110	10.1	Nutzung bestehender Erfindungen und Schutzrechte	124
6.4.8	Abweichungen zum Regelwerk	110	10.2	Eigene Erfindungen und Schutzrechte, -anmeldungen	124
6.4.9	Bewertung des Realisierungskonzeptes	111		Literatur	124
6.5	Bauwerk 4 – Dreifeldsystem mit einer Gesamtlänge von bis zu 100 m	112		Bilder	127
6.5.1	Allgemeine Objektbeschreibung	112		Tabellen	130
6.5.2	Gründung	113		Anlagen	
6.5.3	Unterbauten	113		Anlage 1: Datenbank Grobbauablauf für die Brückenunter- und -überbauten	
6.5.4	Überbau	115		Anlage 2: Bauzeitenvergleich	
6.5.5	Entwässerung; Rückhaltesysteme, Schutzeinrichtungen und Zugänglichkeit	117		Anlage 3: Berechnungsvorgang der Bewertungsmatrix	
6.5.6	Herstellung Bauzeit	117		Anlage 4: Variantenvergleich Unter- und Überbauten	
6.5.7	Baukostenschätzung und Kostenvergleich zwischen Standard- und innovativen Vorgehen	119		Anlage 5: Baukostenschätzungen	
6.5.8	Abweichungen zum Regelwerk	120		Anlage 6: EP_BWP _ Bauwerk 1	
6.5.9	Bewertung des Realisierungskonzeptes	120		Anlage 7: EP_BWP _ Bauwerk 2	
				Anlage 8: EP_BWP _ Bauwerk 3	
				Anlage 9: EP_BWP _ Bauwerk 4	

Der Anhang zum Bericht ist im elektronischen BAST-Archiv ELBA unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de> abrufbar.

1 Einleitung

1.1 Veranlassung

Verursacht durch die alternde Bausubstanz, den kontinuierlich gestiegenen Schwerlastverkehr, in Verbindung mit vorhandenen Defiziten bestehender Straßenbrücken, wird der Ersatzneubau zunehmend an Bedeutung gewinnen. Die Umsetzung von Ersatzneubauten verursacht gegenwärtig starke Verkehrsbeeinträchtigungen, da diese in aller Regel vor Ort am vorhandenen Brückenstandort hergestellt werden. Die Art der baubedingten Verkehrsführung wird in Abstimmung mit den Bauverwaltungen und Verkehrsbehörden stets projektbezogen gewählt und hängt von der Lage der Baustelle im bestehenden Straßennetz ab.

Im Allgemeinen werden einteilige Bauwerke der Straßenbaulastträger unter Vollsperrung in der künftigen Lage, oder in Seitenlage in der künftigen neuen Lage neben dem Bauwerk beziehungsweise mit provisorischer Umfahrung der Baustelle errichtet. Bauwerke mit geteilten Überbauten (bspw. von Bundesautobahnen) werden in Endlage errichtet. Die Erneuerung der Teilbauwerke erfolgt dabei nacheinander mit Sperrung der jeweiligen Richtungsfahrbahn. Insgesamt verursacht das gegenwärtige Vorgehen erhebliche Verkehrseinschränkungen hinsichtlich des Verkehrsflusses und Umleitungsweglänge sowie eine lange Bauzeit der Bauwerke in der künftigen Lage der Nutzung.

1.2 Zielsetzung

Mit diesem Forschungsprojekt sollen Vorgehensweisen erarbeitet werden, um eine Minimierung von Bauzeit und Verkehrseinschränkungen beim Ersatzneubau von Straßenbrücken zu erreichen. Das Ziel soll durch Anwendung neuer Bautechnologien und Bauweisen erreicht werden. Insbesondere sollen hier auch innovative Ansätze zum Tragen kommen. Die Bearbeitung liegt hierbei auf Objektebene, dass heißt auf der Ebene des einzelnen Bauwerkes. In diesem Fall werden vier Tragsysteme betrachtet. Ein Rahmenbauwerk mit einer Stützweite bis 30 m, ein Ein-Feld-System mit einer Gesamtlänge zwischen 10 m bis 30 m, ein Zwei-Feld-System mit einer Gesamtlänge bis zu 70 m und ein Dreifeldsystem mit einer Gesamtlänge bis zu 100 m. Bei der Bearbeitung werden die Randbedingungen beachtet, dass die Bauwerke Autobahnen überführen und dass die Unterbauten erneuert werden.

1.3 Wirtschaftliche, wissenschaftliche und technische Bedeutung

Das gegenwärtige Vorgehen zur Umsetzung von Ersatzneubauten von Straßenbrücken bedeutet neben den individuellen, für jeden einzelnen Verkehrsteilnehmer spürbaren persönlichen Nachteilen und Einschränkungen, auch volkswirtschaftliche Schäden. Ferner können Vorhaben, welche mehrere Jahre andauern und erhebliche Verkehrseinschränkungen verursachen, ganze Regionen in Ihrer wirtschaftlichen Entwicklung spürbar einschränken oder es wird gar der Fortbestand von Wirtschaftsbetrieben gefährdet. Dass das gegenwärtige System keinen zukunftsweisenden Charakter hat, erkennt man beispielsweise daran, dass andere Unternehmen der Infrastruktur, wie die Deutsche Bahn, schon seit Jahren Ihre Infrastruktur unter dem Motto „Fahren und Bauen“ erneuert. Ein Grund dafür ist, dass die Deutsche Bahn den wirtschaftlichen Schaden durch Einschränkungen im Streckennetz selber tragen muss. Im Hinblick auf den bevorstehenden Investitionsbedarf erfordert die Vielzahl an Ersatzneubauten mit zeitgleicher Umsetzung ein hohes Maß an bauzeitverkürzenden Bautechnologien, um den Bedarf an Umleitungen sowie Verkehrseinschränkungen zu minimieren. Übergeordnet kann sogar davon gesprochen werden, dass die Aufrechterhaltung der Infrastruktur durch Erneuerung mit minimalen Verkehrseinschränkungen den Fortbestand des sozialen Wohlstandes mit absichert.

Wissenschaftlich und technisch bedeutet die Forderung zur Verkürzung der Bauzeit bei Verwendung innovativer Bauverfahren zur Minimierung von Verkehrseinschränkungen, dass auch der Innovations- und Forschungsgeist in der Bauwirtschaft, in Planungsbüros und an den Hochschulen gefordert ist, um die neuen Wege einzuschlagen.

1.4 Vorgehensweise

1.4.1 Bearbeitungsstufen

Um die gesetzten Ziele zu erreichen, wurde das Projekt stufenweise bearbeitet. Die einzelnen Bearbeitungsstufen sind in Form von Abschnitten dargestellt.

Abschnitt 1

Der erste Abschnitt stellt die Analyse des derzeitigen Vorgehens beim Ersatzneubau von Brücken-

bauwerken dar. Dabei werden für die zu untersuchenden Tragsysteme, in der Detailtiefe einer Vorplanung, aktuelle Bauverfahren und Bauprozesse bei der Umsetzung von Ersatzneubauten aufgezeigt und auf Verfügbarkeit des Bauwerkes während der Maßnahme, auch unter Berücksichtigung des Bestandsbauwerkes, analysiert. In diesem Abschnitt werden ebenfalls die Straßenbaubehörden der Länder eingebunden, um einen realistischen Querschnitt des gegenwärtigen praktischen Vorgehens abzubilden.

Abschnitt 2

Mit dem zweiten Arbeitsschritt werden innovative Bauprozesse und Bauverfahren für den Ersatzneubau, in der gleichen Detailtiefe wie im vorangegangenen Abschnitt, aufgezeigt und Realisierungskonzepte dargelegt. Für die neuen Vorgehensweisen werden die technische Machbarkeit und Abweichungen zu den regelwerkskonformen Standardbauweisen untersucht und festgestellt, sowie sich daraus ergebende bauzeitliche Verfügbarkeitseinschränkungen aufgeführt. Die mit dem neuen Vorgehen verbundenen Risiken werden benannt und bewertet.

Abschnitt 3

Nach Abschluss der beiden ersten Arbeitsschritte erfolgt die vergleichende Gegenüberstellung des gegenwärtigen Vorgehens und der innovativen Ansätze. Bei der vergleichenden Gegenüberstellung wird eine Bewertungsmatrix verwendet, welche den Fokus der Aufgabenstellung abbildet. Dies sind unter anderem, die Bauzeit und der Platzbedarf in Endlage, die Verkehrseinschränkung der über- bzw. unterführten Verkehrswege, der Platzbedarf in der Herstelllage, der Vorfertigungsgrad, die Wirtschaftlichkeit, die Mitverarbeitung des Bestandsbauwerkes und Rückbauprozesse. Mit der vergleichenden Gegenüberstellung wird das Potenzial im Hinblick auf Minimierung der Verkehrseinschränkung und Verringerung der Bauzeit aufgezeigt.

Danach wird in Abstimmung mit dem Auftraggeber für jedes der vier Tragsysteme eine weitere zu konkretisierende Variante ausgewählt.

Abschnitt 4

Für die vier ausgewählten Lösungen werden Konzepte, in der Detailtiefe einer Entwurfsplanung, für die Realisierung von konkreten Ersatzneubauten erarbeitet. Im Ergebnis dieser Konzepte wer-

den mögliche Vorteile hinsichtlich Bauzeit und Verkehrseinschränkung herausgearbeitet, Abweichungen von geltenden Regelungen aufgezeigt und im Vergleich zum Standardverfahren bewertet. Den Abschluss des vierten Abschnittes stellt die Abschätzung der Kosten für innovative Ansätze und Standardansätze einschließlich eines Vergleiches dar.

2 Darstellung des derzeitiges Vorgehens

2.1 Referenzbauwerke

2.1.1 Allgemeines

Da der Bearbeitungsschwerpunkt auf Objektebene liegt, wurde für das derzeitige Vorgehen für jedes der vier im Kapitel 1.2 genannten Tragsysteme ein Referenzbauwerk erstellt. Grundsätzlich musste in einem ersten Schritt der Brückenquerschnitt definiert werden. Da es sich um Brücken im Zuge von Bundesautobahnen handelt, ist bei der Querschnittsauswahl die RAA bindend. Um in den Forschungsvorhaben ebenfalls den Unterschied zu anderen Brückenbauwerken der Infrastruktur, beispielsweise Eisenbahnbrücken herauszuarbeiten, wurde ein möglichst breiter Querschnitt, der Querschnitt RQ 36 B der EKA 1 nach RAA – Richtlinie für die Anlage von Autobahnen [1], gewählt.

Die Linienführung im Grundriss wird mit geradliniger Trassenführung angenommen. Zu beachten ist, dass, für Bauwerke im Kurvenbereich zusätzliche Schwierigkeiten/Randbedingungen hinzukommen, welcher bei der konstruktiven Umsetzung zu beachten sind.

Hinsichtlich der Gründung der Bauwerke wird davon ausgegangen, dass eine Flachgründung möglich ist, da für die fiktiven Bauwerke keine konkrete Baugrundsituation definiert ist.

2.1.2 Brückenbestand in Deutschland

Am Beispiel der durch die BASt erhobenen Statistiken über Brücken an Bundesfernstraßen [2] ist zu erkennen, dass die vorgegebenen Tragsysteme – im Folgenden Referenzbauwerke genannt – rund 93 Prozent der Bestandsbauwerke in Deutschland abbilden. In der statistischen Erhebung wurde weiterhin festgestellt, dass hinsichtlich der Bauweisen

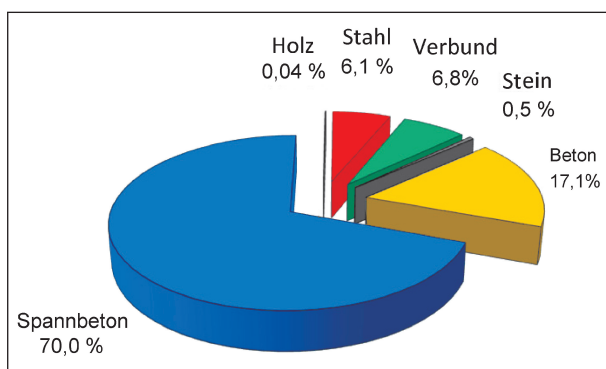


Bild 2-1: Brückenflächen nach Bauweisen [2]

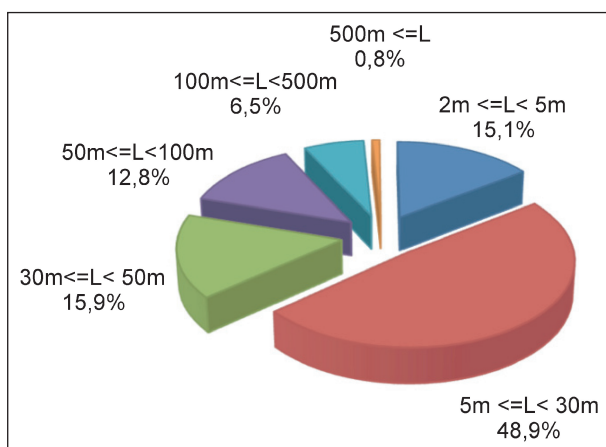


Bild 2-2: Anteil der Teilbauwerke nach Längenklassen [2]

die Brücken an Bundesfernstraßen zu 70 Prozent in Spannbetonbauweise und zu 17 Prozent in Stahlbetonbauweise errichtet wurden sind. Somit kommt der Betonbauweise eine besondere Bedeutung zu.

2.1.3 Bevorzugte Überbaubauweisen im betreffenden Stützweitenbereich

Die Wahl des Überbauquerschnittes hängt maßgeblich von der Stützweite des Bauwerkes ab. Eine gute Orientierung gibt dabei die Tabelle 2.2.1 der RE-ING [3]. Brückenbauwerke mit einer kleineren Stützweite von bis zu 15 m werden vorrangig als Stahlbetonplattenquerschnitt ausgebildet. Bis zu einer Stützweite von 25 m finden dann auch Spannbetonplatten Anwendung, wobei schon ab einer Stützweite von 15 m Stahlbetonplattenbalken wirtschaftlich errichtet werden können. Die Bauweise der Stahlbetonplattenbalken wird bis zu einer Stützweite von 25 m verwendet. Ab einer Stützweite von 20 m bis 40 m oder gar 50 m konkurrieren dann die Bauweisen der Spannbetonplattenbalkenfertigteile mit Ortbetonergänzung und Stahlverbundfertigteilträger mit Ortbetonergänzung. Gerade bei größeren Stützweiten über 40 m werden häufig Stahlverbundfertigteile verwendet, weil sie

Bauweise	Stützweite				
	bis 10m	bis 15m	bis 20m	bis 25m	bis 30m
Platte Stahlbeton					
Platte Spannbeton					
Plattenbalken Stahlbeton					
Plattenbalken Spannbeton					
Spannbeton Fertigteil					
Stahlverbund offene Profile					

Bild 2-3: Überbaubauweisen in Abhängigkeit der Stützweite

ein vergleichsweise geringes Transportgewicht aufweisen. Die Anzahl der Stege hängt dabei einerseits von der Breite des Brückenbauwerkes und auf der anderen Seite von den Restriktionen des Transportes von Fertigteilen auf den Verkehrswegen ab. Die gebräuchlichen Überbauquerschnitte sind in Abhängigkeit der Stützweite im Bild 2-3 für den festgelegten Querschnitt dargestellt. Dabei werden Querschnittformen für größere Einzelstützweiten als die der Referenzbauwerke nicht betrachtet.

2.1.4 Querschnitt

Der Querschnitt der Referenzentwürfe wird in der Bauweise eines dreistegigen Plattenbalkens ausgebildet. Dabei sind für die Richtungsfahrbahnen getrennte Überbauquerschnitte vorgesehen.

Der gewählte Querschnitt wird im Bild 2-4 dargestellt. Die Fahrbahnneigung ist als Dachprofil ausgebildet.

2.1.5 Bauwerk 1 – Rahmen mit bis zu 30 m Stützweite

Mit dem ersten Bauwerk werden Rahmenbauwerke mit einer Stützweite bis zu 30 m abgebildet. Bei dieser Bauweise werden in der Praxis grundsätzlich

zwei verschiedene Längssysteme, die des Vollrahmens bzw. die des Halbrahmens ausgebildet. In unserem Fall wird die Bauweise eines flach gegründeten Halbrahmens mit Kastenwiderlager betrachtet. Der Überbau wird durch den in Kapitel 2.1.4 dargestellten Querschnitt einen dreistegigen Plattenbalkenquerschnitts gebildet. Zur Betrachtung der Einschränkungen auf untenliegende Verkehrswege wird die Autobahn in diesem Fall über einen Straßenverkehrsweg überführt. Aus diesem Verkehrsraum ergibt sich dann auch die lichte Höhe des Widerlagers.

2.1.6 Bauwerk 2 – Einfeldsystem mit einer Gesamtlänge von 10 m – 30 m

Das Einfeldbauwerk baut auf den im vorhergehenden Kapitel beschriebenen Rahmen des ersten Bauwerkes auf. Die Rahmenecke wird in diesem Beispiel in eine gelenkige Lagerung aufgelöst und durch eine Auflagerbank mit Kammerwand und Lagersockel ersetzt. Alle anderen Randbedingungen sind deckungsgleich mit dem Rahmenbauwerk.

2.1.7 Bauwerk 3 – Zweifeldsystem mit einer Gesamtlänge von bis zu 70 m

Mit dem dritten Bauwerk werden Zweifeldbauwerke mit einer Gesamtstützweite bis 70 m dargestellt

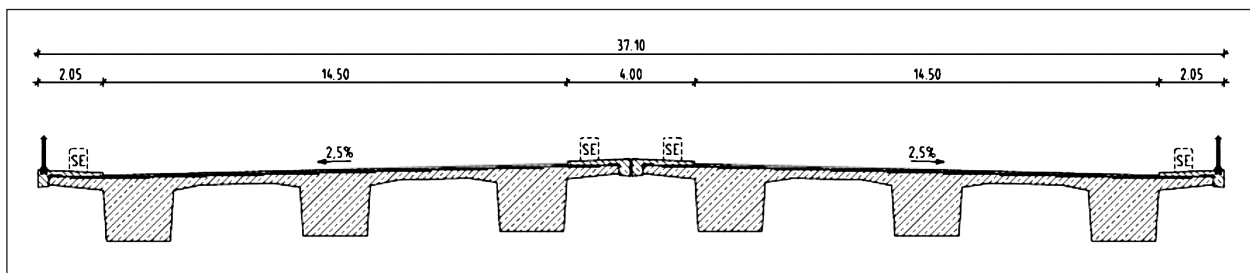


Bild 2-4: Regelquerschnitt, RQ 36B (EKA1 nach RAA [1])

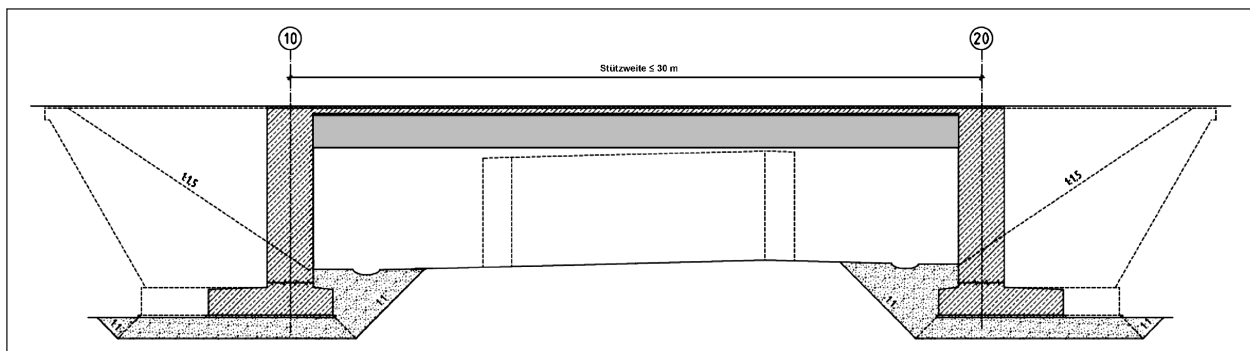


Bild 2-5: Rahmen bis zu 30 m Stützweite (Längsschnitt)

werden. Um eine Durchgängigkeit und Vergleichbarkeit in der Variantenbetrachtung zu erreichen, wird das vorhergehende Einfeldbauwerk um ein weiteres Feld ergänzt. In diesem wird der Verkehrsweg über ein Gewässer überführt. Die Zwischenunterstützung wird als flach gegründete Stahlbetonpfeilerscheibe ausgeführt.

2.1.8 Bauwerk 4 – Dreifeldsystem mit einer Gesamtlänge von bis zu 100 m

Mit dem vierten Bauwerk wird das längste Bauwerk des Referenzfalls betrachtet. Es handelt sich um ein dreifeldriges Bauwerk mit einer Gesamtlänge von bis zu 100 m. Auch bei diesem Bauwerk wird das System fortgeführt und das vorhergehende Bauwerk um ein weiteres Feld erweitert. In dem zusätzlichen Feld überführt die Brücke einen Schienenverkehrsweg. Der zusätzliche Mittelpfeiler wird ebenfalls in Stahlbetonbauweise geplant.

2.2 Derzeitiges praktisches Vorgehen bei der bauliche Umsetzung von Ersatzneubauten

Im zu untersuchenden Stützweitenbereich wird die Errichtung der Autobahnbrücken deutschlandweit zum größten Teil derart realisiert, dass die zu erneuernden Bauwerke in Endlage vor Ort hergestellt werden. Dabei werden die Bauwerke der Richtungsfahrbahnen über eine Raumfuge und getrennte Überbauten entkoppelt, sodass die Erneuerung richtungsfahrbahnbezogen erfolgen kann. In aller Regel wird bei dem Ersatzneubau von Brückenbauwerken an Bundesfernstraßen der Verkehr auf einer Richtungsfahrbahn gebündelt und das Brückenbauwerk auf dem gesperrten Kapitel erneuert. Nach Fertigstellung des ersten Teilbauwerkes wird dann der Verkehr auf dieses Bauwerk umverlegt und es wird das zweite Teilbauwerk erneuert. Damit einhergehend werden große Verkehrseinschränkungen, welche sich über Monate erstrecken, in Kauf genommen.

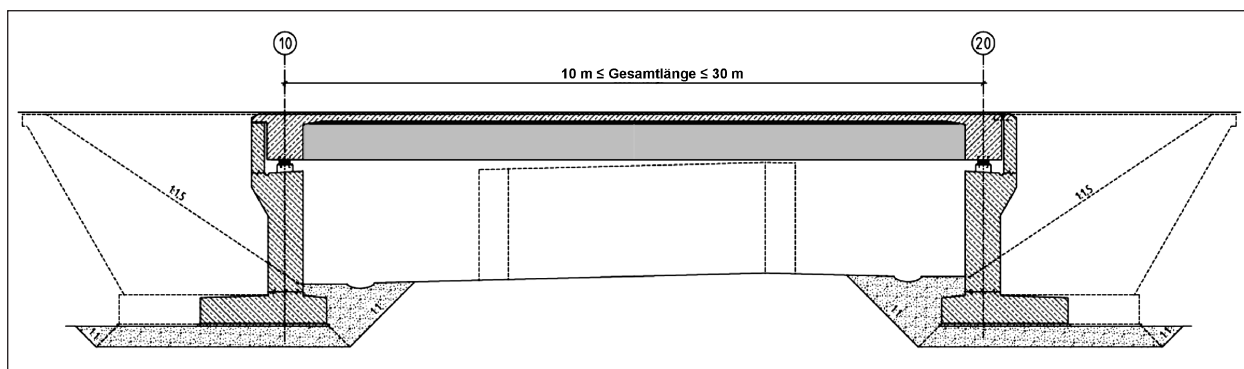


Bild 2-6: Einfeldbauwerk bis 30 m Stützweite (Längsschnitt)

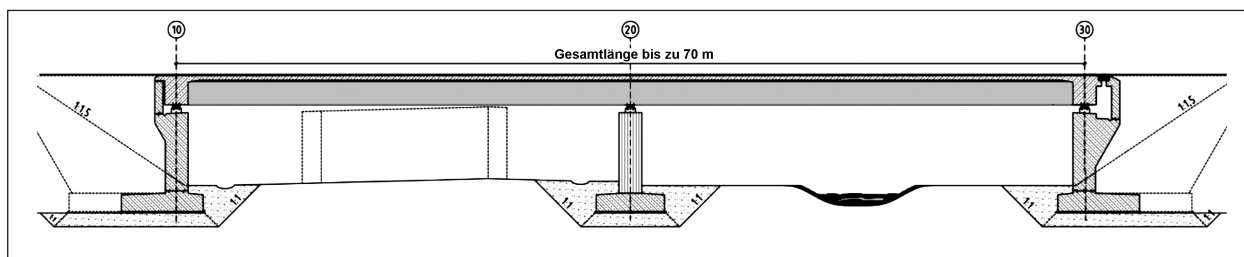


Bild 2-7: Zweifeldbauwerk (Längsschnitt)

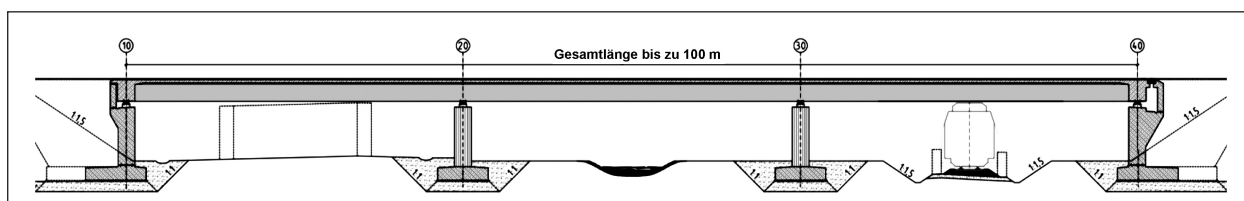


Bild 2-8: Dreifeldsystem (Längsschnitt)

Um die Einschätzung aus der langjährigen Erfahrung beim Ersatzneubau von Brückenbauwerken zu verifizieren, wurden die Straßenbaubehörden der Länder bezüglich des derzeitigen Vorgehens angefragt.

Um einheitliche und vergleichbare Rückmeldungen zu erhalten, welche in diesem Forschungsprojekt verarbeitet werden können, wurde ein entsprechendes Anfrageblatt aufgestellt, wo konkrete und vergleichbare Aussagen zur Erneuerung von Brückenbauwerken abgefragt wurden. Grundsätzlich wurde gefragt, welchem Tragsystem in Längsrichtung der vier Referenzbauwerke das Bauwerk zuzuordnen ist. Weiterhin wurde noch abgefragt, welches Tragsystem im Querschnitt, und welche Überbauweise errichtet wurden sind. Und letztlich wurde noch nach der Art der baulichen Umsetzung, der Verkehrsführung und auch den damit einhergehenden Verkehrseinschränkungen sowie den Bauzeiten nachgefragt.

Schwerpunktmäßig wurden aussagekräftige Rückmeldungen von den Straßenbaubehörden Hessen Mobil, der Autobahndirektion Nord- und Südbayern und dem Landesbetrieb Straßen NRW gegeben. Das Ergebnis der Rückmeldungen fällt eindeutig aus, bis auf einige wenige Ausnahmen wurden die Brückenbauwerke am Standort des vorhandenen Brückenbauwerkes errichtet. Die Erneuerung erfolgte dabei richtungsfahrbahnbezogen mit getrennten Überbauten. Der Verkehr wurde dabei auf der nebenliegenden Richtungsfahrbahn mit einhergehender Querschnittreduzierung auf 4+0-Verkehr mit gleichzeitiger Geschwindigkeitsreduzierung auf 80 km/h gebündelt. In Abhängigkeit der Stützweite wurde die Richtungsfahrbahn für einen Zeitraum von 6 bis 18 Monaten gesperrt und der Verkehr entsprechend umgelegt. Die Gesamtbauzeit für die Erneuerung der Bauwerke betrug zwischen 16 Monaten und 36 Monaten. Auch die Anwendung der im Kapitel 2.1.3 dargestellten Bauweisen wurde bestätigt.

Es gibt eine Ausnahme bei der das Brückenbauwerk unter Totalsperrung der Autobahn erneuert wurde [4]. Auch das seitliche Vorfertigen und Einschleppen der Bauwerke in Endlage wurde in einem Fall schon ausgeführt. Zu nennen ist hierbei die Erneuerung eines Zweifeldbauwerkes im Bereich der Autobahnspinne Offenbach (A 3 ÜF Ast A 661). Das Bauwerk konnte an nur zwei Wochenenden eingebaut werden [5, S. 6]. Bei der Erneuerung der A 5, Darmstadt – Heidelberg, AS Heppenheim, UEF B

460 Lorsch – Heppenheim wurde zur Erneuerung des Bauwerkes der Bundesstraße die Trasse seitlich verschwenkt und über eine Behelfsbrücke geführt [5, S. 6]. Die Einschränkungen in der Verkehrsführung konnten dadurch reduziert werden.

Die zuvor beschriebenen und schon ausgeführten alternativen Verfahren zur Umsetzung von Ersatzneubauten stellen aber in aller Regel einen Sonderfall dar und spiegeln nicht das derzeitige Vorgehen wieder. Dies wurde durch die Auswertung der Rückläufer der Anfrageblätter ebenfalls eindeutig verifiziert.

2.3 Bewertung des derzeitigen Vorgehens

Dadurch, dass gegenwärtig die Errichtung von Ersatzneubauten weitestgehend am geplanten Brückenstandort erfolgt, ergeben sich eine Reihe von Nachteilen. Der größte Nachteil ist sicherlich, dass die Erneuerung der Bauwerke massive Auswirkungen auf die betreffenden Verkehrsadern hat. Mit der Umsetzung der Maßnahmen wird der Verkehr auf einer Richtungsfahrbahn auf 4+0-Verkehr mit gleichzeitiger Geschwindigkeitsreduzierung auf 80 km/h gebündelt und dadurch der Straßenquerschnitt reduziert und stark eingeschränkt. Ebenso sind entsprechende Geschwindigkeitsreduzierungen im Baustellen- und Anbahnungsbereich aus Verkehrssicherheitsgründen erforderlich. Da ein Großteil der Autobahnen stark ausgelastet ist, bedeutet dies, dass durch die Baustellen Staus auf den betroffenen Verkehrsadern und gegebenenfalls auf den nebenliegenden Ausweichrouten verursacht werden.

Als zweiter Nachteil ist zu nennen, dass die Bauwerke nach individuellen Bedürfnissen vor Ort errichtet werden. Eine Standardisierung ist nicht vorhanden. Auch die Verwendung von Fertigteilen ist auf die Fertigteil-Spannbetonplattenbalken sowie Verbundfertigteilträger des Überbaus beschränkt. Dies bedeutet, dass bei der Errichtung vor Ort zwar auf alle in situ anzutreffenden Eventualitäten reagiert werden kann, dies aber mit einer sehr langen und vor allem witterungsabhängigen Herstellung des Bauwerkes erkauft wird. Gleichzeitig muss davon ausgegangen werden, dass dadurch die Ausführungsqualität gegenüber einer Fertigteilbauweise schlechter ist.

Gleichzeitig bedeuten beide Nachteile, dass aufgrund der Fertigung vor Ort und den großen Verkehrseinschränkungen große Gefahrenquellen für die Verkehrssicherheit und Arbeitssicherheit entstehen.

Das derzeitige Vorgehen hat nicht nur Nachteile vorzuweisen. Rein bauwerksbezogen betrachtet haben sich die vorgestellten Bauweisen über Jahrzehnte bewährt und wurden Schritt für Schritt verbessert. Durch die Herstellung vor Ort werden dauerhafte monolithische nahezu fugenlose Bauwerke geschaffen, die optimal in jede örtliche Situation eingepasst werden können.

3 Darstellung von innovativen Bauweisen

3.1 Allgemeines

Um die Bauzeit am Nutzungsort, also die Bauzeit mit Verkehrsbeeinflussung und damit auch die Verkehrseinschränkung zu reduzieren, gibt es verschiedene Möglichkeiten. In diesem Kapitel werden Bauweisen betrachtet, die dies ermöglichen sollen. Es galt also die Fragestellung zu beantworten, wie die herkömmlichen Bauweisen geändert bzw. neu gestaltet werden können, um die Bauzeit in Endlage zu reduzieren. Eine Möglichkeit ist, dass man die Bauteile einer Brücke modularisiert – Aufteilung eines Ganzen in Einzelteile – , um die Fertigung dieser Einzelteile in ein Fertigteilwerk verlagern zu können. Auf der Baustelle findet dann nur noch die Montage der Einzelteile statt. Grundsätzlich ist dann noch zu unterscheiden, ob Vollfertigteillösungen oder Teilfertigteillösungen mit Vorortergänzungen, beispielsweise Ortbetoneingängen im Fugenbereich oder über einer ganzen Fläche hergestellt werden sollen.

Bezogen auf die Überbauten stellen sich dann grundsätzliche Fragen wie der Überbau geteilt werden soll, denn die Teilung bedeutet gleichzeitig, dass in diesen Bereichen Fugen entstehen, welche sich nachteilig auswirken können. Die Fuge zwischen den Fertigteilen ist nicht als klassische wartungsanfällige Fuge zu sehen, welche mit Fugenbändern geschlossen und abgedeckt wird. Vielmehr sind bei der modularen Bauweise Fugen im Sinne von fügen zu sehen. Das heißt den Zusammenhalt

zwischen zuvor getrennten Werkstücken schaffen, um eine feste dichte Verbindung zu erreichen.

Grundlegend gibt es zwei Möglichkeiten. Die erste ist, dass man den Überbau durch Längsfugen teilt. Damit kann man in der Länge orientierte Trägerelemente ausbilden, welche auf der Baustelle zu einem Ganzen zusammengesetzt und verbunden werden. Gerade weil im Brückenbau linienförmige, in der Breite begrenzte Lasten wirken, ist bei einer solchen Teilung die Quertragwirkung vom Verbund bzw. der Tragfähigkeit der Längsfuge abhängig und damit von außerordentlicher Bedeutung und bedarf im Weiteren größter Aufmerksamkeit. Gleichzeitig muss beachtet werden, dass bei der Aufteilung in Längsrichtung sehr lange Einzelteilgrößen und damit Transportlängen und Transportgewichte entstehen können. Hierbei müssen die praktischen Grenzen beachtet werden. Diesen Ansatz wurde schon mit der Planung und Ausführung der sogenannten BT 50 bzw. BT 70 Reihen für Brückenüberbauten in der DDR nachgegangen [6].

Die zweite Möglichkeit ist, dass Bauwerke mittels Querteilung zu unterteilen. Wie allgemein bekannt ist, wird dies schon seit Jahrhunderten bei der Segmentbauweise angewendet. Dabei wird der ganze Überbauquerschnitt, es handelt sich meistens um ein- oder mehrzellige Hohlkastenquerschnitte, quer geteilt. Die Einzelteile werden vor Ort über ein Krangerüst in Endlage gebracht und nach der Positionierung miteinander verspannt und abgesenkt. Gerade beim Bau von größeren Talbrücken und vor allem in jüngerer Zeit beim Bau von Brücken in China findet diese Bauweise vermehrt Anwendung.

Die klassische Form der Segmentbauweise ist aufgrund der aufwendigen Krangerüste für die eher kleinen Stützweiten der Referenzbauwerke von untergeordneter Bedeutung. Wenn man eine Modularisierung der Bauwerke mit Querteilung herstellen möchte, sind andere Ideen gefragt. Für diesen Ansatz gab es in der jüngsten Zeit schon erste Pilotprojekte.

Zum Beispiel wurde ein Rahmenbauwerk mit Verbundüberbauquerschnitt und aufgesetzten in Längsrichtung verspannte Spannbetonplattenelemente hergestellt [7]. Dabei wurden die Plattenelemente von der Tragwirkung des Rahmenbauwerkes entkoppelt auf die Längsträger aufgelegt und können sich dauerhaft unabhängig von diesen bewegen. In einem anderen, im Jahr 2018 realisierten Rahmenbauwerk wurde ein Verbundüberbauquer-

schnitt dadurch hergestellt, dass zuerst die Längsträger aus Stahl verlegt wurden sind. Auf diesen wurden dann Plattenelemente aufgesetzt und zentrisch miteinander verspannt. Nachträglich wurde bei diesem Bauwerk ein Verbundquerschnitt durch vergießen der Dübeltaschen hergestellt [8].

Beide Beispiele zeigen, dass, wenn man bei Bauwerken kleinerer Stützweite Querfugen ausführen und dabei auf die klassische Segmentbauweise verzichten möchte, eine Kombination von Längstragerelementen und aufgesetzten in Querrichtung spannenden Plattenelementen ausführen sollte.

Für die Unterbauten stellt sich die gleiche Frage, wie diese geteilt werden können – horizontal oder vertikal – um transportable und vom Gewicht her transportable Einzelteile zu erhalten. Des Weiteren kann bei den Unterbauten noch überlegt werden, wie diese in wenig Einzelteile aufgelöst werden oder durch andere, aus Einzelteilen bestehende, Bauweisen ersetzt werden können.

Diese Grundüberlegungen und die in im Kapitel 2.1.4 dargestellten Überbauquerschnittvarianten stellen den Ausgangspunkt für die Modularisierung der Brückenüberbauquerschnitte dar.

Da die Grundüberlegungen daraufhin abzielen innovative Bauweisen in der Form der Fertigteilbauweise zu betrachten, stellt sich die Frage, welche Probleme sind bei den damaligen Bauweisen aufgetreten. Auch die Frage, ob die damals aufgetretenen Probleme vielleicht zum Verschwinden der Bauweisen geführt haben.

Die Betrachtung der Auswirkungen der innovativen Lösungsansätze auf die Unterhaltung und Erhaltung der Bauwerke sind nicht Gegenstand des Forschungsvorhabens.

3.2 Probleme der DDR-Fertigteilbrücken

In der DDR wurden eine Vielzahl von typisierten Fertigteilbrücken errichtet. Nach der Wiedervereinigung wurden die Brücken im Fernstraßenbereich in die Baulast des Bundes übernommen und es stand die Sanierung des ostdeutschen Straßen- und Brückennetzes an. Um die vorhandene Bausubstanz besser einschätzen und die zielgerichtete Sanierung durchführen zu können, wurden kontrollierte

mit Untersuchungen begleitende Rückbauten der Brückenbauwerke durchgeführt.

Dabei wurden im Einzelnen folgende typische Schäden festgestellt:

Rückbau einer Spannbetonbrücke BT 70 mit Versuchen [9]

- Durchfeuchtungen, weil eine Abdichtung unter den Gehstegteile fehlt bzw. fehlerhaft ausgeführt wurde,
- Spannglieder korrodiert, weil diese mangelhaft verpresst wurden sind oder Gummiringe verrutscht waren,
- Korrosion der schlaffen Bewehrung aufgrund zu geringer Betondeckung,
- Querkraftbewehrung/Queranker nicht ausreichend dimensioniert,
- Ausführungsfehler durch Abweichung von den Vorgaben [9].

Sicherung von Randträgern bei Fertigteilbrücken BT 70 und BT 50 [10]

- unzureichende Verankerung/Kopplung des Randträgers,
- Steifigkeitsunterschiede zwischen dem Rand und Hauptträger [10].

Zweiter Bericht über Schäden an Bauwerken der Bundesverkehrswege [11]

- Schäden beruhen im überwiegenden Teil auf der jahrzehntelangen Vernachlässigung jeglicher planmäßig erforderlichen Instandsetzung,
- sprunghafter Anstieg des Güterverkehrs [11].

Schlussfolgerungen

Die an den Fertigteilbrücken festgestellten Probleme/Schäden beruhen nicht auf dem System des Fertigteilbaus, sondern sind auf identifizierte Planungs- und Ausführungsfehler, unzureichende normative Forderungen/Vorgaben (Betondeckung, Querkraftbewehrung) und geänderte Beanspruchung in der Nachwendezeit zurückzuführen.

Diese Schadensursachen können bzw. wurden durch normative Anpassung abgestellt bzw. können bei fachgerechter Ausführung und stetiger Instandhaltung vermieden werden. Durch neue Fertigungstechniken wie BIM, Laserscanning, CNC gesteuertes Betonfräsen und letztlich auch einer detaillierten Fertigungsüberwachung können Baufehler und Bautoleranzen zusätzlich stark reduziert werden.

Damit steht der Weiterverfolgung der Fertigteilbauweise für Brücken nichts entgegen.

3.3 Übersicht

Die in den nachfolgenden Abschnitten erläuterten Bauweisen bilden eine Art Baukastensystem, aus dem ein Brückenbauwerk gebildet werden kann. Aus diesem Grund werden die verschiedenen Ansätze getrennt für die Unterbauten und Überbauten sowie Kappen erläutert. Die vier im Kapitel 2.1 zu konkretisierenden Bauwerksvarianten können dann im Wesentlichen frei mithilfe des Baukastensystems und anhand der für die Referenzsysteme günstig wirkenden Vorteile zusammengestellt werden.

Die verschiedenen Bauweisen können wie im Bild 3-1 zusammenfassend dargestellt werden.

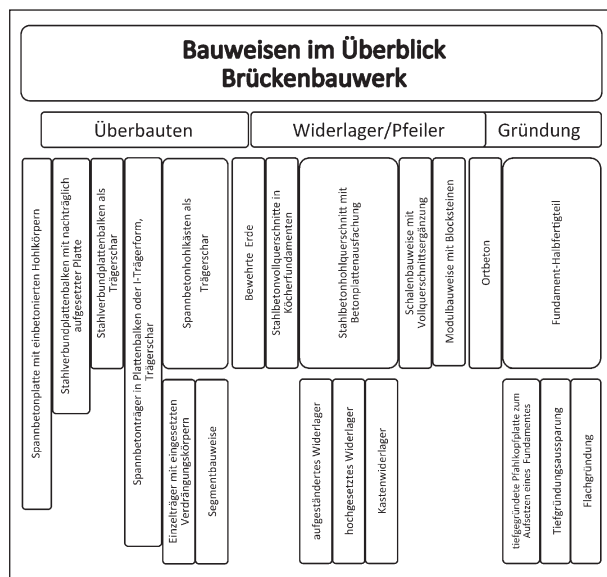


Bild 3-1: Baukastensystem – Bauweisen von Brückenbauwerken im Überblick

3.4 Unterbauten

3.4.1 Variante UB 1 – Modulbauweise mit Blocksteinen und rückseitiger Ortbetonschale

Beschreibung

Das Widerlager wird bei dieser Variante in Modulbauweise mit Betonblocksteinen errichtet. Dabei wird das Widerlager aus vorgefertigten Blocksteinen der Länge 2 m, 4 m, 6 m und 8 m zusammengesetzt. Für die Auflagerbank und Flügelkappenbereiche gibt es entsprechende Sonderelemente.

Hinsichtlich der Umsetzung des Tragsystems stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung. Die Erste ist, dass die Steine in der Bauweise einer Trockenmauer übereinander gestapelt werden. Dabei werden die Steine im „Läuferverband“ verlegt. Das Tragverhalten entspricht dann dem einer Schwergewichtsmauer. Zwischen den Steinen werden dabei zur Sicherstellung der horizontalen Tragfähigkeit entsprechende Schubnocken angeordnet. Gleichzeitig ergibt sich durch das Tragsystem der Schwergewichtswand eine sehr große Wanddicke. Bei dieser Variante erhält man eine Vielzahl von horizontalen und vertikalen Fugen, welche erdseitig abgedichtet werden müssen.

Wenn man den Wandquerschnitt reduzieren möchte, besteht die Möglichkeit, dass erdseitig eine Ortbetonerfüllung, als eine Art Zugband angeordnet wird. Dieses Zugband wird über eine Anschlussbewehrung mit dem Fundament verbunden. Gleichzeitig löst man dadurch das Problem, dass darüber erdseitig die Fugen geschlossen und die einzelnen Blocksteine zusammengehalten werden können. Der zeitliche Mehraufwand zum Herstellen der Ortbetonerfüllung wird im Verhältnis zum Aufwand für das erdseitige Abdichten der vielen Fugen als überschaubar eingeschätzt. Gleichzeitige überwiegen die statischen Vorteile der Ortbetonerfüllung gegenüber der Stapelbauweise. Aus diesem Grund wird im Folgenden nur die Variante die Modulbauweise mit Ortbetonerfüllung betrachtet.

Eine derartige Lösung wurde schon bei der Errichtung einer Eisenbahnbrücke umgesetzt. Der Unterschied zu den Straßenbrücken besteht im Wesentlichen darin, dass eine Vielzahl von Eisenbahnbrücken sehr schmale Brückenbauwerke sind, wo ein Blockstein je Schicht die ganze Brückenbreite abdeckt.

Bei den Straßenbrücken werden aufgrund der Bauwerksbreite mehrere Blocksteine je Schicht benötigt. Auch die Frage wie die Flügel ausgebildet werden – Parallel- oder Böschungsflügel – ist bei der Ausbildung dieser Bauweise ganz entscheidend.



Bild 3-2: Montage der Flügel [53]



Bild 3-3: Montage eines Schachtelements [53]

den – Parallel- oder Böschungsflügel – ist bei der Ausbildung dieser Bauweise ganz entscheidend.

Die Anwendung dieser Bauweise ist für die Referenzentwürfe in Bild 3-4, Bild 3-5 und Bild 3-6 dargestellt. Der Flügel ist in Form eines Parallelfügels ausgeführt. Im Eckbereich der Widerlager- und Flügelwand sind die Steine mit Versatz angeordnet.

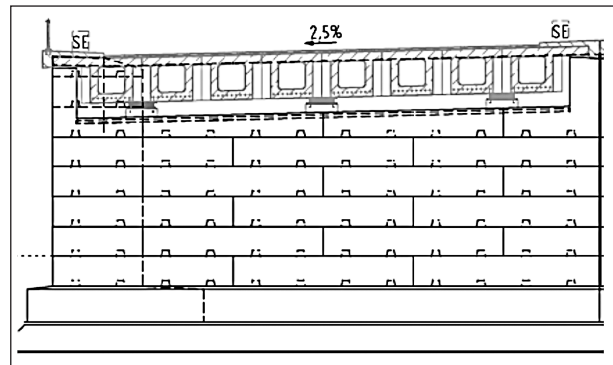


Bild 3-5: Ansicht Widerlager, Modulbauweise mit Blocksteinen (Breite 3 m)

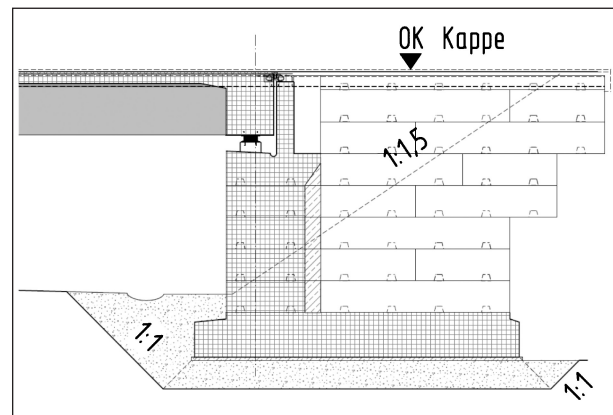


Bild 3-6: Schnitt Widerlager, Modulbauweise mit Blocksteinen (Breite 3 m)

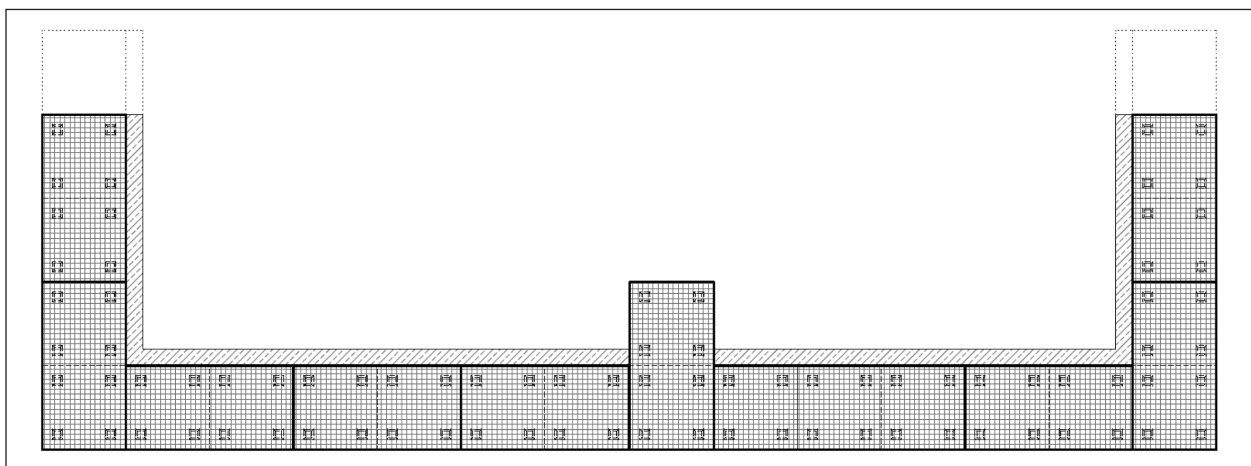


Bild 3-4: Grundriss Widerlager, Modulbauweise mit Blocksteinen (Breite 3 m)

Herstellung der Fertigteile

Die verschiedenen Blocksteine sowie die Sonder-elemente werden im Fertigteilwerk in speziellen Stahlschalungen hergestellt. Die Stahlschalung ist notwendig, um die Passgenauigkeit der Blöcke untereinander sicherzustellen.

Montage der Fertigteile

Auf der Baustelle wird nach dem Rückbau des Bestandsbauwerkes und dem Herstellen der Baugrube zuerst das Fundament der Unterbauten hergestellt. Um Passungsprobleme zu vermeiden und den Kontakt zum Untergrund flächig herzustellen, werden die Fundamente in Ortbetonbauweise errichtet. Im Bereich der Ortbetonergänzung wird eine entsprechende Anschlussbewehrung herausstehen gelassen.

Auf das fertiggestellte Fundament werden die Blocksteine aufgestapelt. Dabei werden zwischen den einzelnen Schichten entsprechende Vergusspalte angeordnet, um einen entsprechenden Höhenausgleich vornehmen zu können. Nachdem alle Blöcke übereinander gestapelt und ausgerichtet sind, werden die Lagerfugen ausgegossen. Abschließend wird erdseitig die Bewehrung eingebaut und die Ortbetonergänzung vorgenommen.

Entwässerung und Abdichtung

Nachdem der Rohbau des Widerlagers hergestellt wurde, werden alle offenen Fugen der Modulblöcke und der Flügelwandanschluss mit Klemmfugenbändern geschlossen und dadurch abgedichtet. Die Entwässerung der erdberührten Flächen erfolgt nach den Grundsätzen der Richtzeichnung Was 7 [12].

Vergleichbare Bauweisen außerhalb Deutschlands

Es sind gegenwärtig keine vergleichbaren Lösungen bekannt.

Vorteile

- Hoher Vorfertigungsgrad,
- hohe Betonqualität durch Werkfertigung,
- kurze Bauzeit.

Nachteile

- Fertigteilmaße aufgrund der hohen Gewichte der Blöcke beschränkt,
- dadurch viele Einzelteile,
- sehr massige Bauteile → dadurch hoher Materialverbrauch,
- Horizontalkräfte nur begrenzt aufnehmbar,
- viele horizontale und vertikale Fugen (bei der Variante der Ortbetonergänzung Nachteil egalisiert).

Detailierungspunkte, welche bei der Bearbeitung der Konzepte für die Realisierung noch zu betrachten sind

- In welcher Dicke sollen die Lagerfugen ausgebildet werden, mit welchem Vergussmaterial sollen diese Vergossen werden und wie ist der temporäre Fugenabschluss auszubilden?
- Anordnung und Größe der zum Verguss benötigten Vergussöffnungen,
- Art und Weise der Profilierung der Fertigteilrückseite in dem Bereich, wo die Ortbetonergänzung angeschlossen werden soll,
- oberseitige Verwahrung der nachträglich aufgetragenen Abdichtung der Klemmfugenbänder.

3.4.2 Variante UB 2 – Schalenbauweise mit Halbfertigteilen und Vollquerschnitt-ergänzungen

Beschreibung

Bei dieser Variante soll die aus dem Hochbau bekannte Bauweise der Hohlwandelemente für die Errichtung der Widerlager genutzt werden. Erste Überlegungen gab es dazu schon in der Machbarkeitsstudie [4].

In diesem Fall soll das Widerlager aus einer Kombination von Hohlwandelementen und Vollfertigteilen errichtet werden. Die Auflagerbank und die Kammerwand werden mit der Ortbetonergänzung hergestellt. Von der Bauform und Tragweise entspricht dies dem klassischen Kastenwiderlager. In Bild 3-7 und Bild 3-8 wird die, auf die Referenzentwürfe übertragene Bauweise, dargestellt.

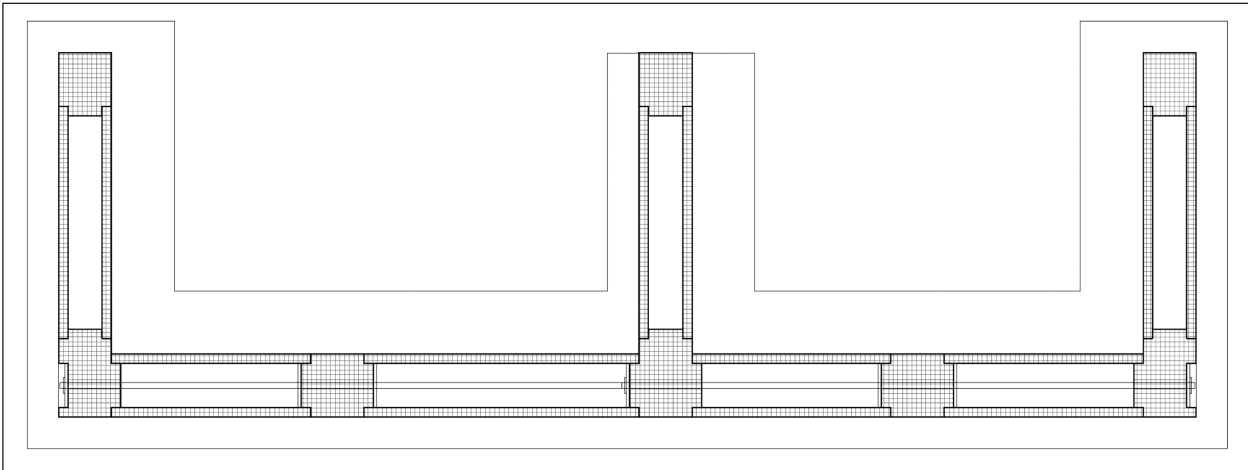


Bild 3-7: Grundriss Widerlager, Schalenbauweise

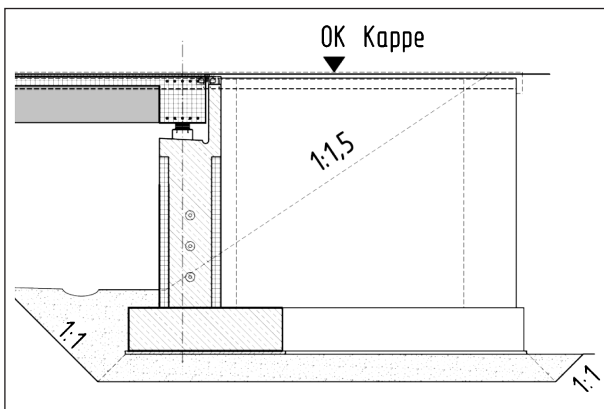


Bild 3-8: Schnitt Widerlager, Schalenbauweise

Herstellung der Fertigteile

Im Fertigteilwerk werden verschiedene Vollquerschnitte für die Eck- und Zwischenbereiche gefertigt. An diesen Querschnitten sind entsprechende Anschlussbewehrungen vorgesehen. Auch die Verankerungspunkte zum Verspannen im Montagezustand sind mit ausgebildet.

Montage der Fertigteile

Wie bei der Variante UB 1 (Kapitel 3.4.1) wird auch bei dieser Variante das Fundament in Ortbetonbauweise hergestellt. Auf diesem Fundament werden in den Eck- und Mittelbereichen Vollquerschnitte aufgestellt und die Zwischenräume mit Hohlwandelementen geschlossen und Bewehrungsergänzungen vorgenommen. Die Schalkörper werden dann noch untereinander verspannt, sodass sich dieser beim Verfüllen der Zwischenräume mit Beton nicht öffnet. In einem ersten Betonierschritt wird die Betonverfüllung der Wandscheibe, einschließ-

lich der Auflagerbank, vorgenommen. Im Anschluss wird dann noch die Kammerwand in Ortbetonbauweise ergänzt.

Entwässerung und Abdichtung

Die Entwässerung und Abdichtung der erdberührten Flächen erfolgt nach den gleichen Grundsätzen der Variante UB 1 (Kapitel 3.4.1).

Vergleichbare Bauweisen außerhalb Deutschlands

In der diesem Forschungsvorhaben vorangestellten Machbarkeitsstudie wurde beschrieben, dass Stahlbetonfertigteile als verlorene Schalung bei der Herstellung von mehreren Pfeilern einer 600m langen Straßenbrücke verwendet worden sind [4]. Diese wurde eingesetzt, um die Bauzeit der Pfeiler zu reduzieren.

Vorteile

- Zerlegbar in mehrere Teile → besserer Transport,
- durch spätere Ortbetonergänzung → leichte Transportteile,
- schnelle Montage,
- alle Teile können durch die Ortbetonergänzung kraftschlüssig miteinander verbunden werden.

Nachteile

- Ortbetonergänzung – aufwendiger – als reines Fertigteil,

- dadurch ergeben sich geringere Bauzeitenvorteile,
- zusätzliche Querverspannungen notwendig, um den Betonagezustand abzusichern.

Detailierungspunkte, welche bei der Bearbeitung der Konzepte für die Realisierung noch zu betrachten sind

- Wie werden die Vollquerschnittfertigteile auf das Fundament aufgesetzt und mit diesem temporär verbunden?
- In welcher Dicke sind die Halbfertigteilplatten auszuführen, sodass Sie für den Bauzustand nicht zusätzlich ausgesteift werden müssen?
- Temporäre Ausführung der Verbindung zwischen den Fertigteilplatten und den Vollquerschnitten, sodass diese für den Betonagezustand nicht gesondert abzudichten sind.
- Über welche Baugruppen erfolgt der Toleranzausgleich zur Sollhöhe des Überbaus?

3.4.3 Variante UB 3 – Widerlager aus bewehrter Erde mit Auflagerfertigteil

Beschreibung

Wie schon in der Machbarkeitsstudie [4] aufgezeigt, wird diese Bauweise außerhalb Deutschlands schon sehr lange angewendet. Dabei gibt es verschiedene Möglichkeiten ein Widerlager zu bilden. Die verschiedenen Varianten sind unter anderem im entsprechenden Merkblatt M SASE [13] aufgeführt. Grundsätzlich gibt es zwei wesentliche Möglichkeiten, die sich darin unterscheiden, wie der Auflagerträger des Überbaus geründet wird. Bei der ersten liegt er direkt auf dem bewehrten Erdkörper auf. Alle Lasten werden in den Körper der Bauweise bewehrter Erde eingeleitet. Dabei ist die Bodenpressung aus ständigen Auflagerlasten aber auf 200 kN/m^2 zu begrenzen. Dieser Grenzwert wurde in zahlreichen Untersuchungen ermittelt [13]. Bei der zweiten Varianten sitzt dieser auf entsprechenden Gründungsstrukturen – Säulen oder Pfähle. Der Körper aus bewehrter Erde übernimmt hierbei ausschließlich die Aufgabe die horizontalen Lasten aufzunehmen. Alle vertikalen Lasten werden über die Gründungsstrukturen in den Baugrund abgeleitet.

Der Körper aus bewehrter Erde wird dadurch hergestellt, dass ein Verbundkörper, bestehend aus Stahlbändern, Außenhautelementen und Verfüllboden, errichtet wird. Die Stahlbänder und die Außenhautelemente sind miteinander verbunden. Die Tragfähigkeit des Verbundkörpers wird durch einen mobilisierten Reibungsverbund zwischen den Stahlbändern und den Verfüllboden erreicht. Weiteres hierzu ist auch im 1. Kapitel Merkblatt M SASE [13] zu finden.

Als Außenhautelemente können Beton- oder Stahlbetonfertigteile verwendet werden. Diese können als fertige Bauteile von verschiedensten Herstellern bezogen werden. Es gibt aber noch weitere Möglichkeiten eine Außenhaut zu errichten. Dazu zählen die flexible Außenhaut aus Metall sowie Sonderformen von bepflanzbaren Betontrögen, aber auch vorgesetzte Gabionenwände. Die Außenhäute müssen auf entsprechende Montagefundamente gegründet werden.

Das Einsatzgebiet von Widerlagern aus bewehrter Erde ist denkbar, wenn der Platz für eine vor dem Auflagerträger befindliche Böschung nicht vorhanden ist. Aber auch wenn die Errichtung der Widerlager vor Ort oder der Abtransport und das Versetzen von großen Fertigteilen nicht möglich ist.

Für die Referenzbauwerke können beide Möglichkeiten angewendet werden.

Im Bild 3-9, linke Seite, ist die auf die Referenzbauwerke übertragene Lösung des echten Widerlagers aus bewehrter Erde dargestellt. Der Auflagerträger gründet hierbei direkt auf dem Verbundkörper. Aufgrund der begrenzten Tragfähigkeit von 200 kN/m^2 für ständige Lasten, ist diese Variante nur bedingt, bei kurzen, bzw. von der Überbauart her leichten Bauweisen, einsetzbar. In der Mitte von Bild 3-9 ist der Auflagerträger über eine Stützenkonstruktion gegründet. Die horizontalen Lasten aus dem anstehenden Erdreich und vertikale Abgrenzung werden durch einen Verbundkörper aus bewehrter Erde aufgenommen. Eine Begrenzung der vertikalen Lasten aus ständigen Einwirkungen kann hier bauartbedingt ausgeschlossen werden. Auf der rechten Seite im Bild 3-9. ist dargestellt, dass mit dem System der bewehrten Erde auch Flügelwände errichtet werden können. Luftseitig wird hier der Abschluss des Verbundkörpers durch Stahlbetonaußenhautelemente ausgebildet. Der obere Abschluss

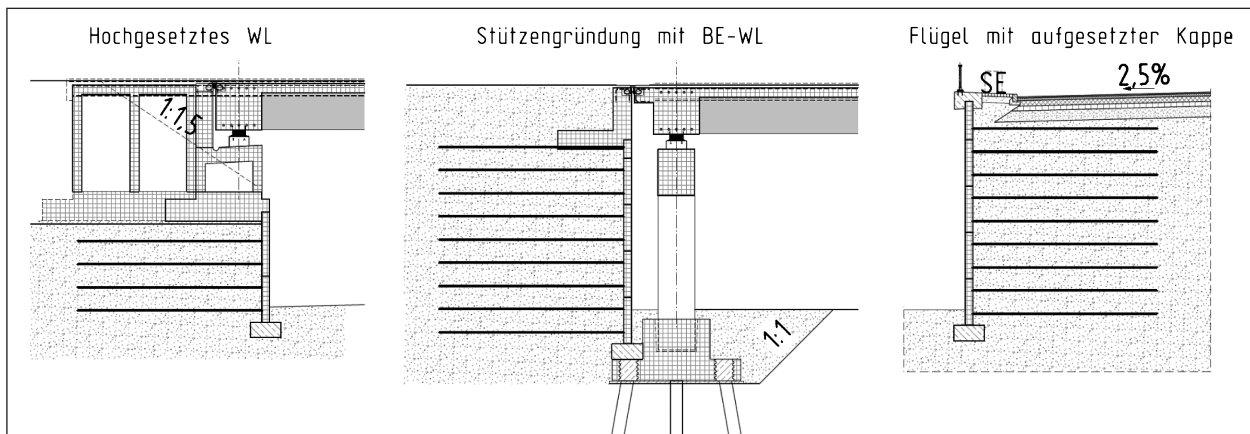


Bild 3-9: Widerlager aus bewehrter Erde (links), Auflagerträgergründung über Stützenkonstruktion (Mitte) und Flügelwände aus bewehrter Erde (rechts)

wird durch ein oberseitig aufgesetztes Stahlbetonkappenelement gebildet.

Herstellung der Fertigteile

Die Außenhaut und die Stahlbänder sowie die dafür benötigten Verbindungsmittel werden im Herstellerwerk vorgefertigt.

Montage der Fertigteile

Nach dem Rückbau des Bestandsbauwerkes und Herstellen der Baugrube ist das Montagefundament für die Außenhaut herzustellen. Danach erfolgt das lageweise Aufbauen des Verbundkörpers. Dazu wird immer eine Reihe der Außenhaut gesetzt, verfüllt und die Bewehrungsbänder eingelegt. Die Verfüllhöhen betragen dabei zwischen 30 cm und 40 cm. Diese Arbeitsschritte werden solange wiederholt, bis die Absetzhöhe des Auflagerteiles erreicht wurde. Danach wird dieses aufgesetzt und rückseitig eine weitere Bewehrungslage angeordnet, um den Abtrag von Horizontalkräften zu ermöglichen. Danach wird der Auflagerträger bis auf Endhöhe hinterfüllt.

Entwässerung und Abdichtung

Der Verfüllboden muss unbedingt wasserdurchlässig sein, sodass das Sickerwasser vertikal abgeführt wird und nicht aus der Außenhaut heraustritt. Die Entwässerung des Verfüllgrundes ist dabei obligatorisch. Weiterhin sollte bei Verwendung von Betonfertigteilen der Fugenbereich erdseitig mit einer Bitumschweißbahn abgedichtet werden, um den Wasseraustritt aus dem Fugenbereich zu verhindern.



Bild 3-10: Kastenwiderlager, USA [53]



Bild 3-11: Kombiniertes Widerlager mit innenliegenden Pfeilern [53]

Vergleichbare Bauweisen außerhalb Deutschlands

Widerlager in der Bauweise bewehrte Erde gehören im Ausland schon seit Jahren zu einer der Regelbauweisen [4], siehe Bild 3-10 und Bild 3-11.

Vorteile

- Benötigte Komponenten sind auf dem Markt verfügbar,

- normativ geregelte Bauweise,
- schnelle Bauweise,
- geringer Platzbedarf vor Ort,
- Böschungsquerschnitt kann stark reduziert werden.

Nachteile

- Vielzahl von Fertigteilfugen die erdseitig abgedichtet werden müssen,
- das Tragelement der Stahlbänder kann nicht geprüft werden,
- Herstellung echter Widerlager aus bewehrter Erde nur für eine begrenzte Sohlspannung von 200 kN/m² für die ständigen Lasten möglich,
- dadurch entsteht gegenüber den Varianten der aufgeständerten Widerlager (Kapitel 3.4.5; 3.4.7) und hochgesetzten Widerlager (Kapitel 3.4.6) doppelter Aufwand, denn die für diese Maßnahmen notwendigen Arbeitsschritte müssen ebenfalls ausgeführt werden, um die vertikale Gründung sicherzustellen.

Detailierungspunkte, welche bei der Bearbeitung der Konzepte für die Realisierung noch zu betrachten sind

- Bis zu welcher Brückenstützweite und -breite kann mit auf dem Verbundkörper direkt gegründeten Auflagerbalken geplant werden?
- Wie kann eine dauerhafte Abdichtung der Fugen Außenhautfertigteile erreicht werden und wie ist diese abzudichten?

- Wie können die Bewehrungsbänder dauerhaft geprüft werden, oder falls dies nicht möglich ist, mit welchem Korrosionsschutzsystem sind diese auszuführen und ist aus diesen Gründen mit einem vergrößerten Sicherheitsbeiwert zu rechnen?

3.4.4 Variante UB 4 – Stahlbetonhohlquerschnitt mit Betonplattenausfachung

Beschreibung

Mit dieser Variante wird das herkömmliche Kastenwiderlager in die Tragstrukturen Stahlbetonhohlquerschnitt mit Betonplattenausfachung aufgelöst. Um das Widerlager zu bilden werden sechs verschiedene Elemente benötigt. Das sind größere Kastenelemente im Flügel/Widerlagereckbereich, Hohlkastenstützenquerschnitte, der Auflagerträger, die Kammerwand, die Betonplattenausfachung und das Flügelaufsatzelement. Dabei werden alle Einzelteile so zusammengesetzt, dass erdseitig eine glatte Fläche entsteht, welche einfach abgedichtet werden kann. Die Einzelteile sind so konzipiert, dass

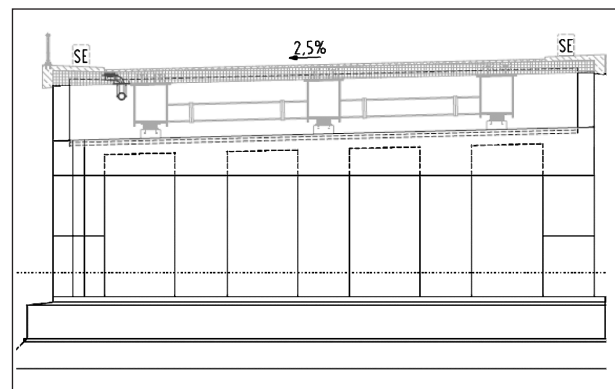


Bild 3-13: Ansicht, Stahlbetonhohlquerschnitt

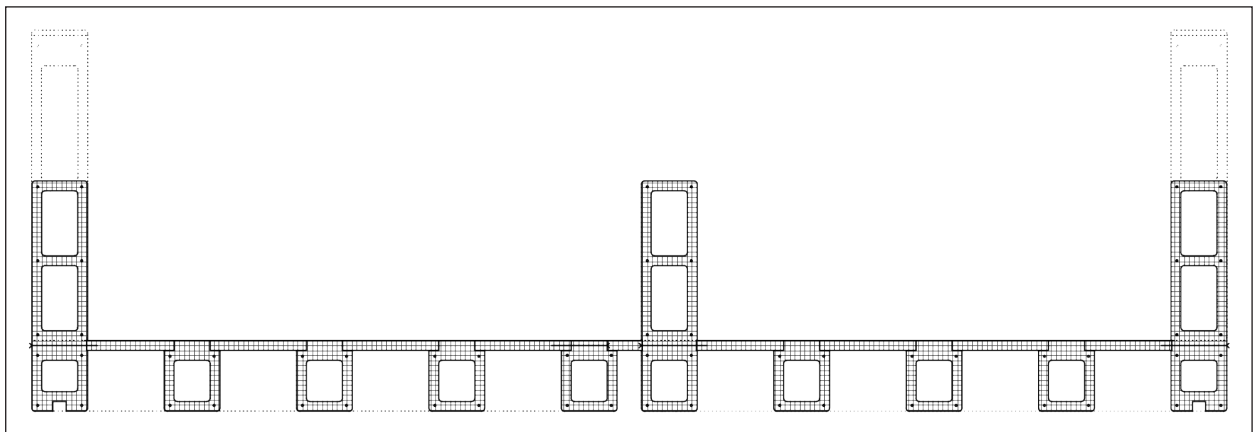


Bild 3-12: Grundriss, Stahlbetonhohlquerschnitt

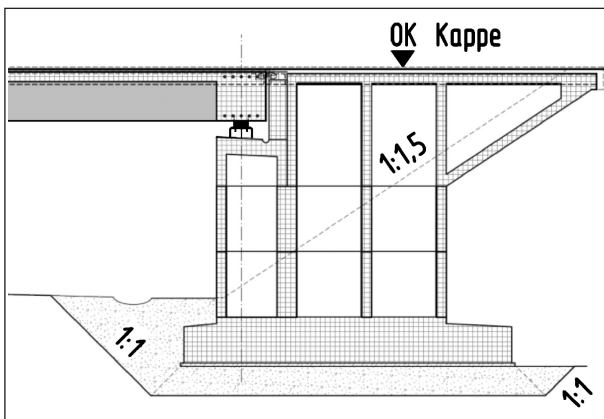


Bild 3-14: Schnitt, Stahlbetonhohlquerschnitt

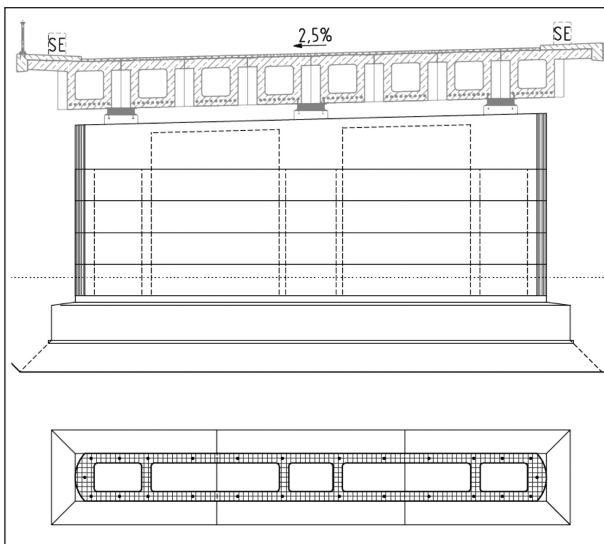


Bild 3-15: Stahlbetonhohlquerschnitt als Pfeilerscheibe

vor Ort keine Ortbetonergänzung mehr vorgenommen werden muss. Alle Bauteile werden untereinander verspannt, sodass eine verbundene Tragstruktur entsteht.

Auch die Pfeilerscheiben lassen sich in dieser Bauweise herstellen. Der Pfeiler kann in zwei Formen hergestellt werden. Bei der einen Form wird eine geschlossene Pfeilerscheibe aus mehrzelligen Hohlkästen gebildet. Dabei gibt es zwei Elementtypen. Einmal den Stapelhohlkasten und dann den Auflagerträger. Dadurch können beliebig hohe Pfeilerscheiben nach einem Baukastensystem hergestellt werden. Die Einzelteile werden genau wie die Widerlagerteile miteinander verspannt. Als zweite Möglichkeit kann man die Pfeilerscheibe noch in einen Stützpfeiler mit aufgelegtem Auflagerträger auflösen.

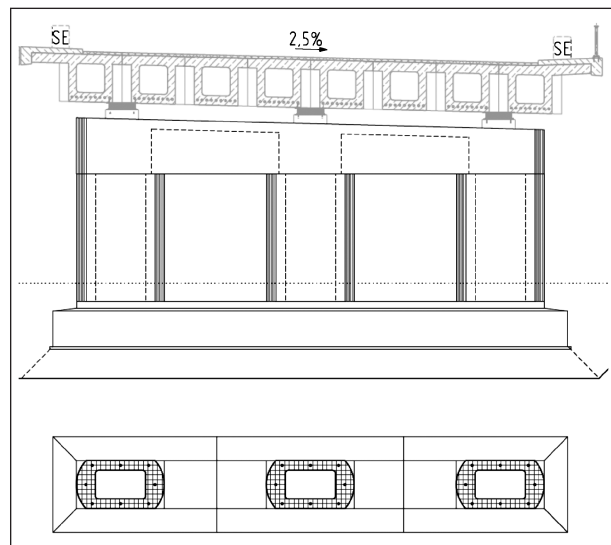


Bild 3-16: Stahlbetonhohlquerschnitt als aufgelöste Stütze

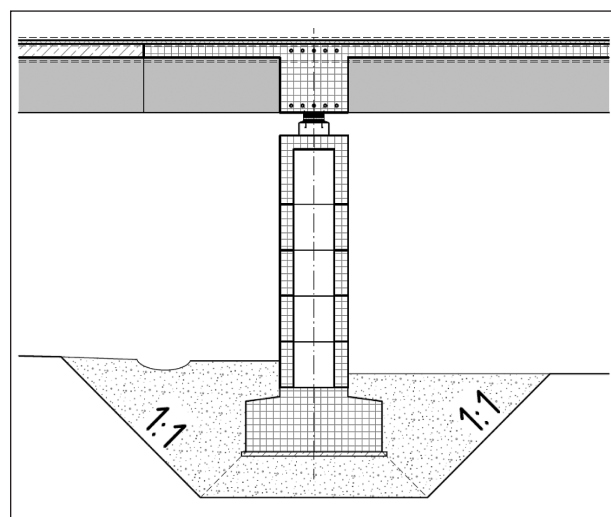


Bild 3-17: Schnitt Stahlbetonhohlquerschnitt

Herstellung der Fertigteile

Die Herstellung der sechs verschiedenen Elemente erfolgt vollständig im Fertigteilwerk. Da eine hohe Passgenauigkeit erreicht werden muss, sind Stahlschalungen zu verwenden. Um eine optimale Fügung beim Stapeln der Elemente zu erreichen, sind die Kontaktflächen mit einem CNC-gesteuerten Verfahren mechanisch nachzuarbeiten. Damit die Fertigteile miteinander verspannt werden können, erfolgt die vertikale Anordnung von Hullrohren in den Hohlkastenwanden. Für das Befestigen der Betonplattenausfachung sind in den Hohlkästen entsprechende Eckausklinkungen mit einbetonierten Ankerschienen vorgesehen. An diesen können dann die Plattenelemente mit Ankerschrauben angespannt werden.

Montage der Fertigteile

Wie bei der Variante 3.4.1 wird auch bei dieser Variante das Fundament in Ortbetonbauweise hergestellt. Das Fundament erhält entsprechende Festankerpunkte zum Verspannen der Fertigteile. Auf das Fundament und einer aufgetragenen Ausgleichsschicht werden die Flügel- und Stützhohlkästen aufgesetzt, justiert und zwischengesichert. Im Anschluss wird das verbindende Element, der Auflagerträger, aufgesetzt. Nachdem dieser ausgerichtet und justiert ist, werden die Elemente miteinander verspannt. Es erfolgt danach das Verschließen der Zwischenflächen durch das rückseitige Einsetzen der Betonplattenausfachung. Diese werden an die Hohlkästen angespannt.

Der Aufbau der Pfeiler erfolgt sinngemäß.

Entwässerung und Abdichtung

Alle Fugen werden mit einem Klemmfugenband abgedichtet. Zur dauerhaften Sicherstellung der Dichtigkeit, wird die Widerlagerrückseite mit einer kunststoffmodifizierten Bitumendickbeschichtung abgedichtet.

Die Entwässerung der erdberührten Flächen erfolgt nach den Grundsätzen der Richtzeichnung Was 7 [12].

Vergleichbare Bauweisen außerhalb Deutschlands

Es sind gegenwärtig keine vergleichbaren Lösungen bekannt.

Vorteile

- Tragfähige kompakte und leichte Elemente,
- wenig Einzelelemente,
- glatte Rückseite, die sich leicht abdichten lässt,
- für die Erneuerung des zweiten Teilbauwerkes ist der Behelfsflügel im ersten Teilbauwerk integriert,
- bis auf das Fundament ist kein Ortbeton erforderlich,
- Elemente sind nur miteinander verspannt und können im Schadensfall mit dem Kran rückgebaut bzw. ausgetauscht werden,
- vertikale Bauteile über Auflagerbalken zusammengefasst,

- das Widerlager eines Teilbauwerkes besteht aus nur 10 Teilen.

Nachteile

- Rückseitige Abdichtung erforderlich,
- hohe Maßgenauigkeit erforderlich – CNC-Bearbeitung erforderlich.

Detaillierungspunkte, welche bei der Bearbeitung der Konzepte für die Realisierung noch zu betrachten sind

- Mit welchen Spannsystemen sollen die Fertigteile miteinander verbunden werden und wie werden diese in die Konstruktion eingebunden?
- Sollen diese dauerhaft zugänglich sein?
- Welche Toleranzen müssen bei der Herstellung der Fertigteile eingehalten werden?
- Wie sollen die Fugen ausgebildet werden? Trockenfugen oder Pressfuge mit Epoxidharzmörtel,
- Detaillösungen der Plattenanschlüsse,
- Detaillösung der Abdichtungsführung der Klemmfugenbänder,
- Wie werden die nicht mehr zugänglichen Hohlräume geprüft oder mit welchem Material werden diese gefüllt (Polystyrol)?
- Über welche Baugruppen erfolgt der Toleranzausgleich zur Sollhöhe des Überbaus?

3.4.5 Variante UB 5 – Stahlbetonhohlquerschnitt – aufgeständertes Widerlager

Beschreibung

Mit der unter Kapitel 3.4.4 erläuterten Bauweise lässt sich auch ein aufgeständertes Widerlager errichten. Bei dieser Widerlagerform ist die sonst freisichtbare Widerlagerwand eingeschüttet. Es entsteht ein Böschungskegel mit einer Berme vor dem Auflagerträger. Darunter verbergen sich die Hohlkastenstützen, welche die Auflagerbank aufständern. Der Vorteil dieser Untervariante ist, dass auf die Betonplattenausfachungselemente verzichtet und die Flügelausprägung stark reduziert werden kann. Durch verkleinerte Widerlagerflächen wird

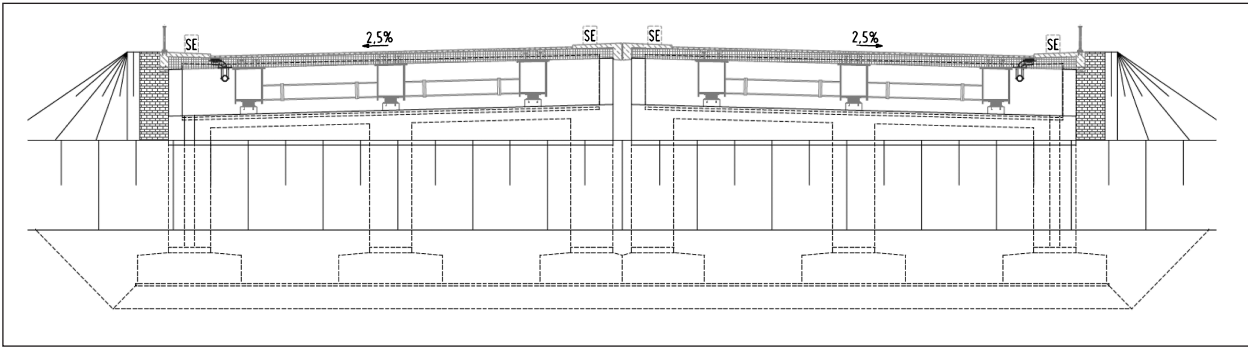


Bild 3-18: Stahlbetonhohlquerschnitt, aufgeständertes Widerlager

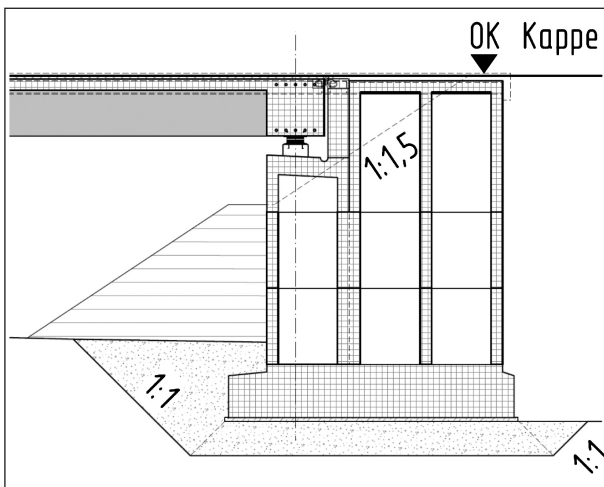


Bild 3-19: Schnitt, Stahlbetonhohlquerschnitt, aufgeständertes Widerlager

der Vorfertigungsaufwand und Instandhaltungsaufwand minimiert. Diese Vorteile werden mit einer größeren Stützweite des Überbaus erkauft.

Herstellung der Fertigteile

Entspricht vom Grundsatz her dem Vorgehen der Variante 3.4.4.

Montage der Fertigteile

Entspricht vom Grundsatz her dem Vorgehen der Variante 3.4.4.

Entwässerung und Abdichtung

Entspricht vom Grundsatz her dem Vorgehen der Variante 3.4.4.

Vergleichbare Bauweisen außerhalb Deutschlands

Es sind gegenwärtig keine vergleichbaren Lösungen bekannt.

Gegenüber der Variante 3.4.4 ergeben sich folgende zusätzlichen Vorteile und Nachteile:

Vorteile

- Anzahl der benötigten Komponenten und damit Vorfertigungsaufwand reduziert,
- Flügelausprägung reduziert,
- Abdichtungsaufwand reduziert,
- Instandhaltungsaufwand durch verkleinerte Widerlagerfläche reduziert.

Nachteile

- Stützweite des Überbaus vergrößert,
- dadurch gegebenenfalls zusätzliches Stützelement im Bereich des Böschungsfußes notwendig.

Detailierungspunkte, welche bei der Bearbeitung der Konzepte für die Realisierung noch zu betrachten sind

- Mit welchen Spannsystemen sollen die Fertigteile miteinander verbunden werden und wie werden diese in die Konstruktion eingebunden?
- Sollen diese dauerhaft zugänglich sein?
- Welche Toleranzen müssen bei der Herstellung der Fertigteile eingehalten werden?
- Wie sollen die Fugen ausgebildet werden, Trockenfugen oder Pressfuge mit Epoxidharzmörtel?
- Detaillösung der Abdichtungsführung der Klemmfugenbänder,
- Wie werden die nicht mehr zugänglichen Hohlräume geprüft oder mit welchem Material werden diese gefüllt (Polystyrol)?

- Über welche Baugruppen erfolgt der Toleranzausgleich zur Sollhöhe des Überbaus?

3.4.6 Variante UB 6 – Stahlbetonhohlquerschnitt – hochgesetztes Widerlager

Beschreibung

Mit dieser Bauweise lässt sich der Vorfertigungs- und Montageaufwand gegenüber der schon reduzierten Bauweise der Variante 3.4.5 noch weiter verringern. Mit den Grundkomponenten der Variante 3.4.4 kann auch ein hochgesetztes Widerlager hergestellt werden. Zur Umsetzung dieser Variante werden dann lediglich nur noch fünf vorgefertigte Komponenten – das Fundament, der Auflagerträger, die Kammerwand, das Flügelement und die darauf aufgesetzte Kappe – benötigt. Dadurch wird der Aufwand für die Vorfertigung noch weiter herabgesetzt und auch die Montagezeiten vor Ort minimieren sich weiter. Mit dieser Variante ist es darüber hinaus möglich, auf vorhandene Bauwerksstrukturen aufzusetzen, um so den Rückbauaufwand zu verkleinern. Sollte die Absetzebene der Fertigteile nicht tragfähig sein oder man möchte sich einen aufwendigen Bodenaustausch ersparen, so können von da aus auch Spannbetonfertigteiltramppfähle oder anderweitige Tiefgründungsstrukturen eingebracht werden (siehe Bild 3-22). Diese müssen mit sehr hoher Lagegenauigkeit eingebracht werden. Das Fertigteilfundament wird dann mit entsprechenden profilierten Aussparungen ausgeführt, in denen die Pfahlköpfe einbinden können. Der Verguss der Aussparungen stellt die tragfähige Verbindung zwischen diesen Komponenten sicher.

Herstellung der Fertigteile

Entspricht vom Grundsatz her dem Vorgehen der Variante 3.4.4.

Montage der Fertigteile

Entspricht vom Grundsatz her dem Vorgehen der Variante 3.4.4. Es ist bei dieser Variante aber auch denkbar, dass das Fundament als Fertigteil hergestellt werden kann.

Entwässerung und Abdichtung

Entspricht vom Grundsatz her dem Vorgehen der Variante 3.4.4.

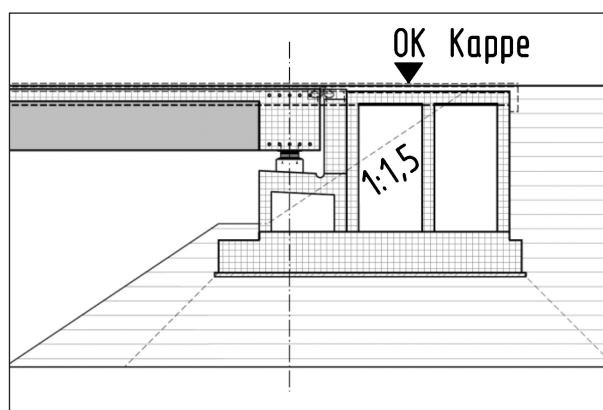


Bild 3-21: Schnitt, Stahlbetonhohlquerschnitt, hochgesetztes Widerlager auf Bodenaustausch

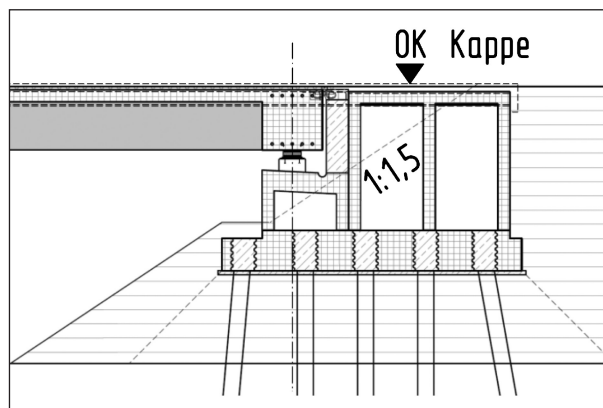


Bild 3-22: Schnitt, Gründung auf Spannbetonrammpfählen

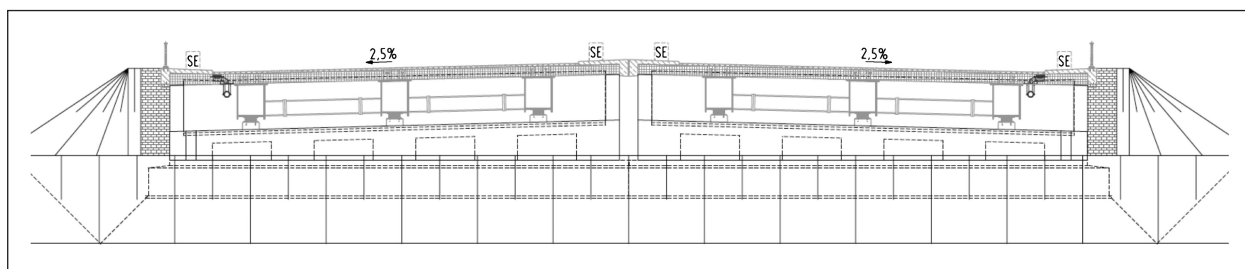


Bild 3-20: Stahlbetonhohlquerschnitt, hochgesetzte Widerlager auf Bodenaustausch

Vergleichbare Bauweisen außerhalb Deutschlands

Es sind gegenwärtig keine vergleichbaren Lösungen bekannt.

Gegenüber der Variante 3.4.5 ergeben sich folgende zusätzlichen Vorteile und Nachteile:

Vorteile

- Noch reduzierte Bauweise,
- reduzierter Erdaushub durch hochgesetzte Gründungsebene,
- Weiternutzung vorhandener Tragstrukturen möglich.

Nachteile

- Stützweite des Überbaus vergrößert,
- dadurch ggf. zusätzliches Stützelement im Bereich des Böschungsfußes notwendig.

Detailierungspunkte, welche bei der Bearbeitung der Konzepte für die Realisierung noch zu betrachten sind

- Mit welchen Spannsystemen sollen die Fertigteile miteinander verbunden werden und wie werden diese in die Konstruktion eingebunden, auch die Ankerkomponenten?
- Sollen diese dauerhaft zugänglich sein?
- Welche Toleranzen müssen bei der Herstellung der Fertigteile eingehalten werden?
- Wie sollen die Fugen ausgebildet werden? Trockenfugen oder Pressfuge mit Epoxidharzmörtel?
- Detaillösung der Abdichtungsführung der Klemmfugenbänder.
- Wie werden die nicht mehr zugänglichen Hohlräume geprüft oder mit welchem Material werden diese gefüllt (Polystyrol)?
- Über welche Baugruppen erfolgt der Toleranzausgleich zur Sollhöhe des Überbaus?

3.4.7 Variante UB 7 – Stahlbetonvollquerschnitt in Köcherfundamenten

Beschreibung

Mithilfe dieser Bauweise wird das Widerlager in eine kleinstmögliche Anzahl von Tragstrukturen aufgelöst. Es werden nur noch vier Einzelteile, die des Fundamentes, zweier Stützen und eines Auflagerträgers mit aufgesetzter Kammerwand und Flügelstummeln, benötigt. Diese Bauteile werden vorgefertigt, sodass das Widerlager auf der Baustelle nur noch aus diesen einzelnen Bauteilen zusammengesetzt werden muss. Das so ausgeführte aufgeständerte Widerlager wird zusätzlich noch eingeschüttet. Zu sehen ist im Endzustand dann nur noch ein Böschungskegel mit Berme vor dem Auflagerträger. Das Fundament ist als Köcherfundament konzipiert. Die Stützenquerschnitte und der Auflagerträger sind jeweils als Vollquerschnitte geplant. Bei dieser Variante wird im gleichen Maße wie bei der Variante 3.4.5 durch die verkleinerte Widerlagerfläche der Vorfertigungs- und Instandhaltungsaufwand

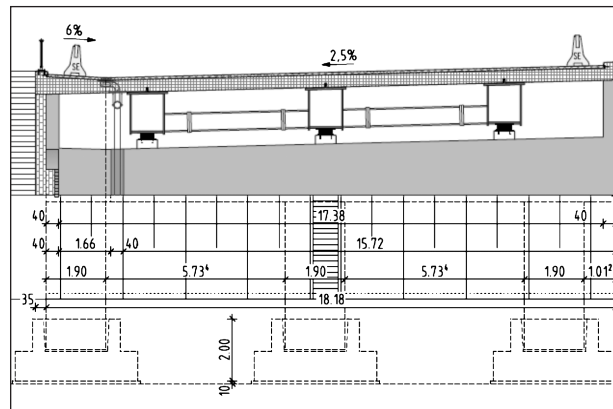


Bild 3-23: Ansicht, Vollquerschnitt in Köcherfundamenten

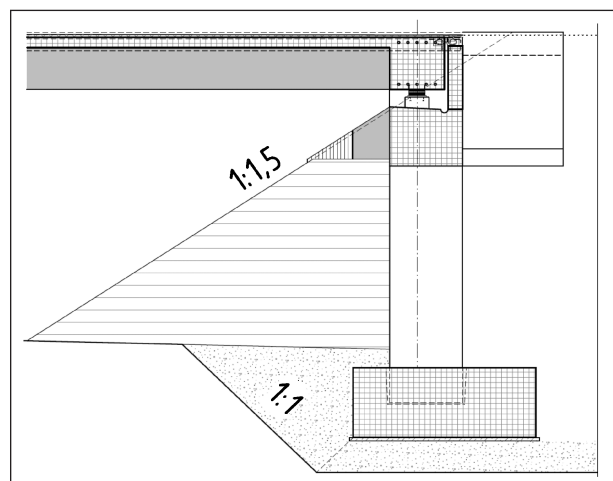


Bild 3-24: Schnitt, Vollquerschnitt in Köcherfundamenten

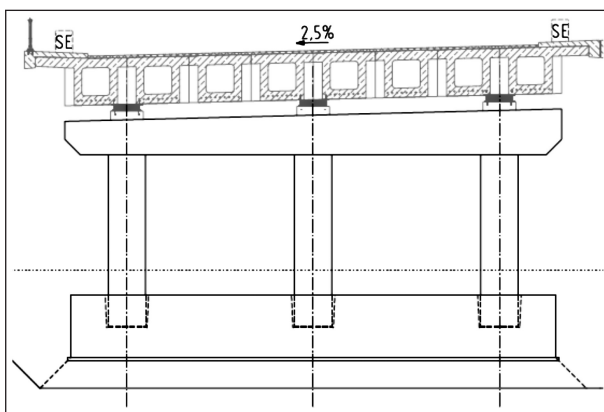


Bild 3-25: Ansicht, Vollquerschnitt in Köcherfundamenten

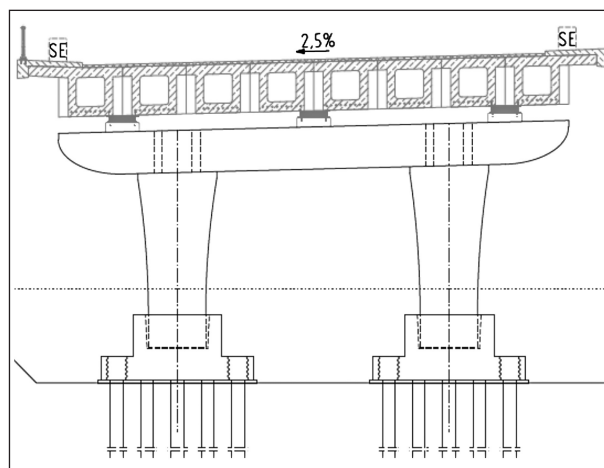


Bild 3-27: Ansicht, Vollquerschnitt in Köcherfundamenten, Gründung auf Spannbetonrammpfählen

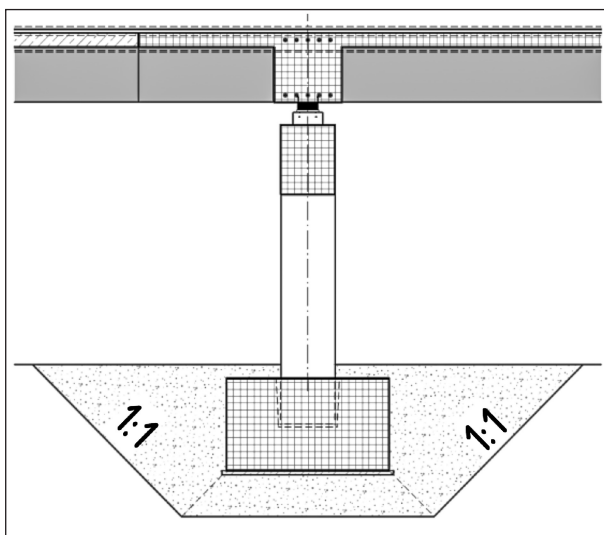


Bild 3-26: Schnitt, Vollquerschnitt in Köcherfundamenten

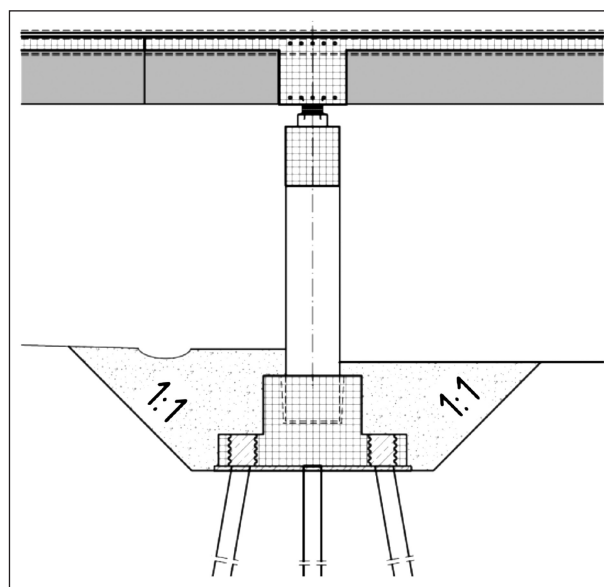


Bild 3-28: Schnitt, Vollquerschnitt in Köcherfundamenten, Gründung auf Spannbetonrammpfählen

in Größenordnung minimiert. Ebenfalls darf nicht unterschätzt werden, dass durch die eingeschüttete Bauweise die horizontale Lasteinwirkung aus Erd-druckbeanspruchung erheblich reduziert wird. Diese Vorteile werden auch bei dieser Variante mit einer größeren Stützweite des Überbaus erkauft. Unter Umständen wird dadurch eine weitere Stützenreihe am Böschungsfuß erforderlich.

Mit dieser gleichen Bauweise lassen sich auch die Pfeilerquerschnitte errichten. Dabei entfallen bei dem Auflagerträger das Kammerwandelement und die Stummelflügelansätze. Es können jedoch seitliche Führungselemente dazukommen. Größere Anforderungen werden für die Pfeilerquerschnitte an die optische Gestaltung der Schalungsformen gestellt.

Diese Bauweise ist nichts Neues, sondern wurde schon vor 1990 in beiden Teilen Deutschlands angewendet. Neben dem Aspekt der einfachen Vorfer-

tigung war auch die Ressourcenknappheit ein Grund für die Anwendung dieser Bauweise, weil die Konstruktionsmaterialien auf das nötigste Minimum begrenzt worden sind. Die Längsschnitte im Bild 3-28 und Bild 3-29 der zwei Straßenüberführungen sind ein eindrucksvolles Beispiel dafür.

Wenn man noch weiter zurückblickt, kann man feststellen, dass die ersten Eisenbahnbrücken ebenfalls mit reduzierten und eingeschütteten Widerlagern errichtet worden sind. Der Grund war ebenfalls der, dass das zur Herstellung benötigte Material nur begrenzt zur Verfügung stand, bzw. unter erheblichen Aufwendungen zur Baustelle hätte transportiert werden müssen. Das reduzierte Widerlager wurde damals auch mit einem verlängerten Über-

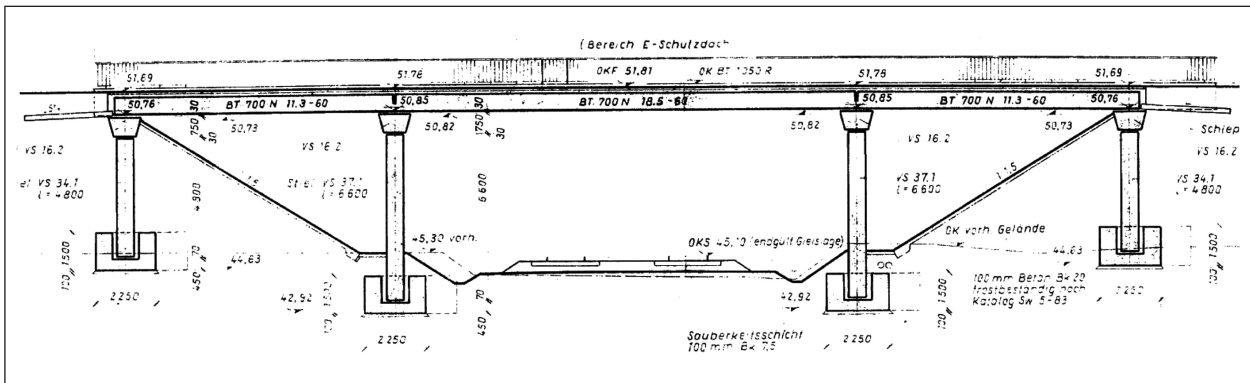


Bild 3-29: Bestandsplan, SÜ km 3,87 bei Medewitzerhütten [53]

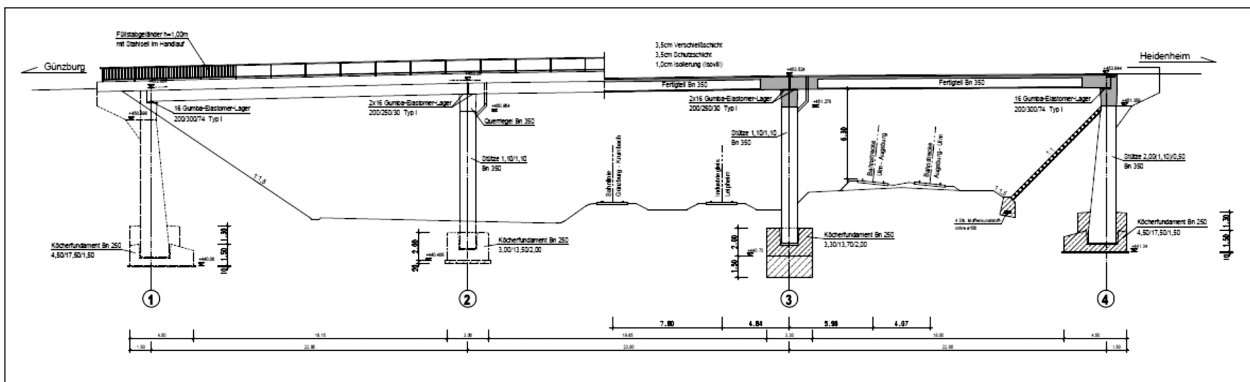


Bild 3-30: Bestandsplan, Bahnbrücke Heidenheimer Straße, Stadt Günzburg [40]

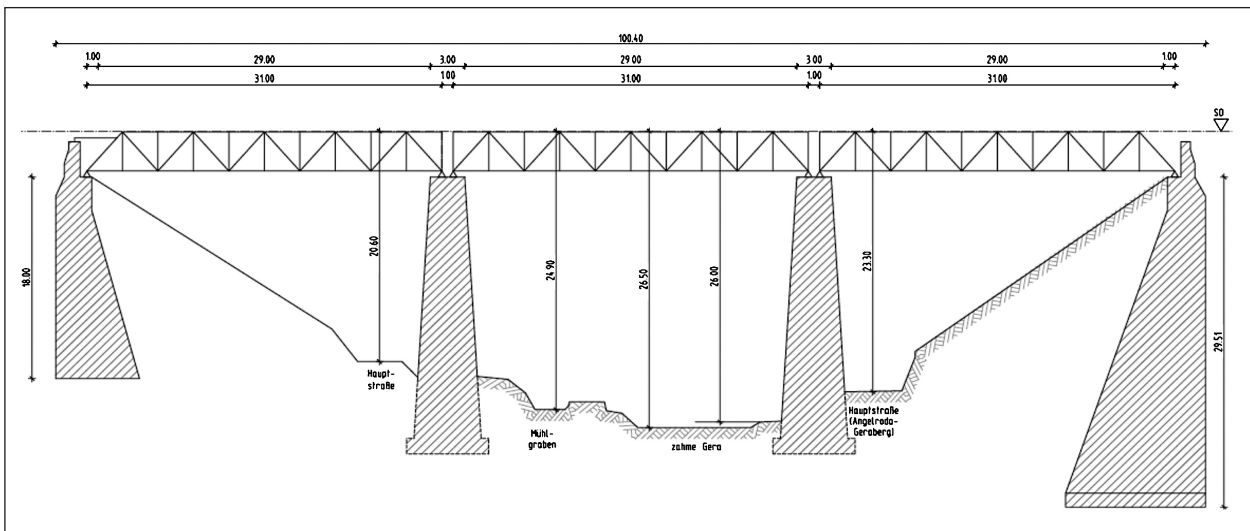


Bild 3-31: Bestandsplan Viadukt Angelroda, km 5,300, Strecke 6694 [41]

bau und zusätzlichen Stützenreihen umgesetzt. Beispielhaft wird das an dem Längsschnitt des Angelrodaer Viaduktes sichtbar. Bei dem im Jahre 1905 errichteten Bauwerk wurden ebenfalls die Widerlager auf schmale Natursteinwände reduziert, welche eingeschüttet worden sind.

Herstellung der Fertigteile

Die Bauteile der Fundamente, Stützen und Auflagerträger werden in Stahlbetonbauweise im Fertigteilbauwerk hergestellt. Dabei sind Stahlschalungen zu verwenden, um eine passgenaue und formstabile Schalungsform und damit Fertigteilgeometrie zu erhalten.



Bild 3-32: Unterbau aus vorgefertigten Betonelementen [50]



Bild 3-33: Unterbau aus vorgefertigten Betonelementen [50]

Montage der Fertigteile

Das Bestandsbauwerk wird klassisch zurückgebaut. Nach Herstellung der Baugrube wird zuerst das Köcherfundament verlegt und positioniert. In dieses werden die Stützenquerschnitte eingesetzt und von der Höhe und Neigung her ausgerichtet. Wenn diese dann positioniert und im Köcherbereich vergossen sind, wird der Auflagerträger aufgesetzt. Zur Verbindung der Einzelteile ragen von den Stützenquerschnitten Ankerstangen in den Träger hinein. Sobald dieser ausgerichtet ist, erfolgt der Verguss der Ankerstangen und der Kontaktfuge.

Entwässerung und Abdichtung

Der eingeschüttete Auflagerträger ist nicht abzudichten. Die Ausbildung der Hinterfüllung erfolgt nach den Grundsätzen der Richtzeichnung Was 7 [12].

Vergleichbare Bauweisen außerhalb Deutschlands

In Deutschland wurde diese Bauweise vergessen. In unserem Nachbarland, den Niederlanden, werden jedoch weiterhin moderne Bauwerke in dieser Bauweise errichtet.

Vorteile

- Tragfähige kompakte leichte Elemente,
- wenig Einzelemente,
- vergleichsweise geringere Anforderungen an die Maßgenauigkeit,
- schnelle Errichtung,
- Flügelausprägung reduziert,
- Abdichtungsaufwand reduziert,
- kleine Widerlageraußenflächen, dadurch geringerer Instandhaltungsaufwand.

Nachteile

- Nur aufgeständerte Widerlager möglich,
- Vergussstellen vorhanden,
- längere Stützweite des Überbaus durch aufgeständertes Widerlager.

Detailierungspunkte, welche bei der Bearbeitung der Konzepte für die Realisierung noch zu betrachten sind

- Wie soll die Fugen zwischen Stütze und Auflagerbalken ausgebildet werden? Trockenfugen

oder Pressfuge mit Epoxidharzmörtel, oder Mörtelfuge?

- Wie werden die Ankerstangen der Stütze in den Auflagerbalken eingebunden, oder soll an dieser Stelle sinnvollerweise ein klassischer Bewehrungsanschluss mit Betonverguss hergestellt werden?
- Gibt es für die Verbindung mit Ankerstangen schon ein Bemessungskonzept, bzw. können vorhandene normative Regelungen abgewandelt werden?
- Welche Toleranzen müssen bei der Herstellung der Fertigteile eingehalten werden?
- Über welche Baugruppen erfolgt der Toleranzausgleich zur Sollhöhe des Überbaus?

3.4.8 Variante UB 8 – Winkelstützelemente als Widerlagerfertigteil

Beschreibung

Bei dieser Variante wird das klassische Stahlbetonwiderlager – Fundament mit monolithisch aufgesetzter Wandscheibe vertikal in ca. 2,50 m breite Elemente geteilt. Dadurch entstehen transportable Winkelstützelemente. Auf der Baustelle können diese Elemente zur Errichtung von kleineren Rahmenbauwerken oder kleineren Bauwerke mit Betongelenken verwendet werden. Die Flügelausbildung ist bei dieser Bauweise als Böschungsflügel unter Verwendung eben dieser Winkelstützelemente vorgesehen.

Herstellung der Fertigteile

Die Winkelstützelemente werden im Fertigteilwerk hergestellt. Um die Nacharbeit am Kontaktstoß der Wandelemente zu minimieren, ist eine Stahlschalung zu verwenden. Bei der Ausbildung einer Pressfuge sind die Wandseiten in der Nachbearbeitung unter Zuhilfenahme von CNC-Technik zu schleifen.

Montage der Fertigteile

Nach dem Rückbau des Bestandsbauwerkes ist eine ca. 50 cm dicke bewehrte Ortbetonschicht als lastverteilende Unterlage zu errichten. Auf diese wird anschließend eine dünne Montageschicht aus Zementmörtel oder Splitt aufgebracht, sodass die Fertigteile in diese passgenau versetzt werden kön-

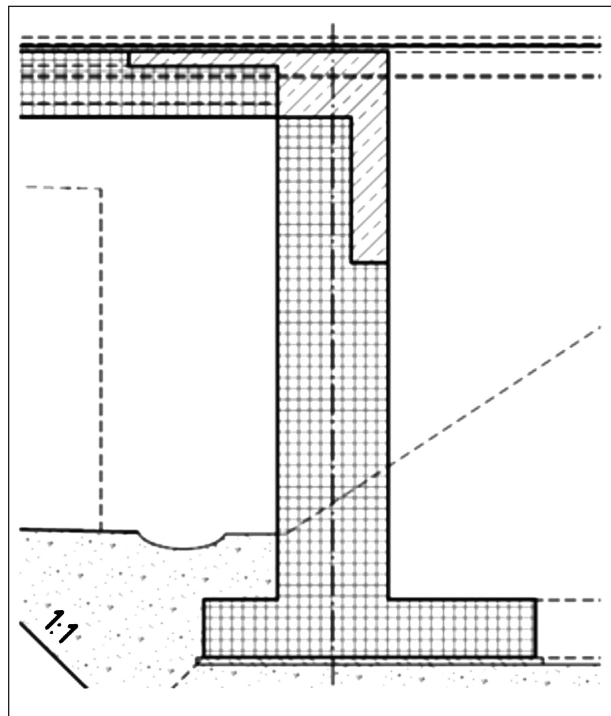


Bild 3-34: Widerlagerausbildung bei der Herstellung eines Rahmenbauwerkes

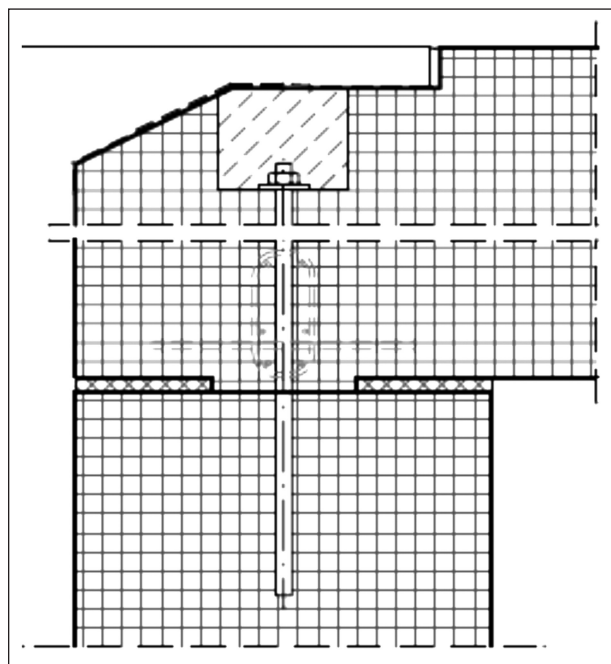


Bild 3-35: Variante bei der Ausbildung eines Betongelenkes mit Ankerstab

nen. Nachdem dies geschehen ist, werden die Elemente noch untereinander verspannt.

Entwässerung und Abdichtung

Die vertikalen Fugen der Winkelstützelemente werden erdseitig mit aufgetragenen Klemmfugenbän-

dem dauerhaft verschlossen. Die Ausbildung der Hinterfüllung erfolgt nach den Grundsätzen der Richtzeichnung Was 7 [12].

Vergleichbare Bauweisen außerhalb Deutschlands

Es sind gegenwärtig keine vergleichbaren Lösungen bekannt.

Vorteile

- Vom Grundsatz her bekannte und bewährte Bauweise,
- geringe Anzahl verschiedener Baugruppen,
- schnelle Errichtung vor Ort,
- keine Ortbetoneergänzung erforderlich.

Nachteile

- Nach außen hin sichtbare vertikale Stoßfugen,
- Verspannung und Abdichtung dieser Fugen.

Detailierungspunkte, welche bei der Bearbeitung der Konzepte für die Realisierung noch zu betrachten sind

- Wie soll die Fugen zwischen Widerlagerfertigteilen ausgebildet werden? Trockenfugen oder Pressfuge mit Epoxidharzmörtel, oder Mörtelfuge?
- Wie werden diese Fertigteile und mit welchem Ankerstangen oder Spannstählen verspannen?

- Welche Toleranzen müssen bei der Herstellung der Fertigteile eingehalten werden?
- Über welche Baugruppen erfolgt der Toleranzausgleich zur Sollhöhe des Überbaus?
- Wird eine bewehrte Fundamentplatte unter den Fertigteilen benötigt, um ein unterschiedliches Setzungsverhalten der einzelnen Baugruppen auszuschließen?
- Detaillösung der Integration des Betongelenkes.

3.5 Überbauten

3.5.1 Variante ÜB 1 – Spannbetonhohlkästen verlegt als Trägerschar

Beschreibung

Mit dieser Variante soll der Überbauquerschnitt aus im Werk gefertigten und in Längsrichtung vorgespannten Spannbetonhohlkästen hergestellt werden. Dabei besteht ein Überbau aus einer bestimmten Anzahl von Trägerelementen, die vorgefertigt und auf der Baustelle als Trägerschar nebeneinander gelegt und verbunden werden. Um den Überbau realisieren zu können werden drei verschiedene Trägerelemente benötigt. Zwei Randträgerelemente – den Innen- und den Außenträger – und dann noch Mittelträgerelemente. Diese Variante kann den in Längsrichtung geteilten und damit modularisierten Überbauten zugeordnet werden.

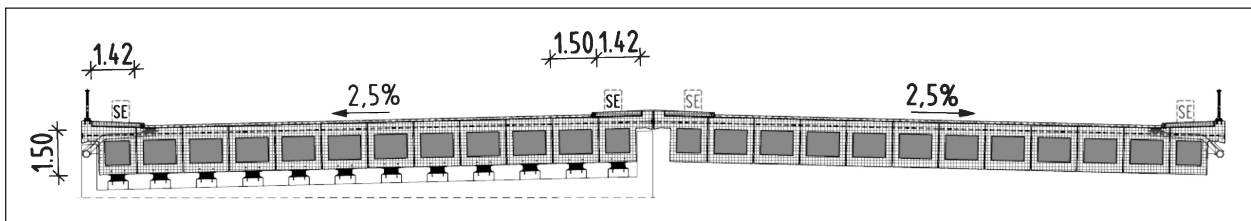


Bild 3-36: Spannbetonhohlkästen mit eingesetzten Polystyrolkörpern

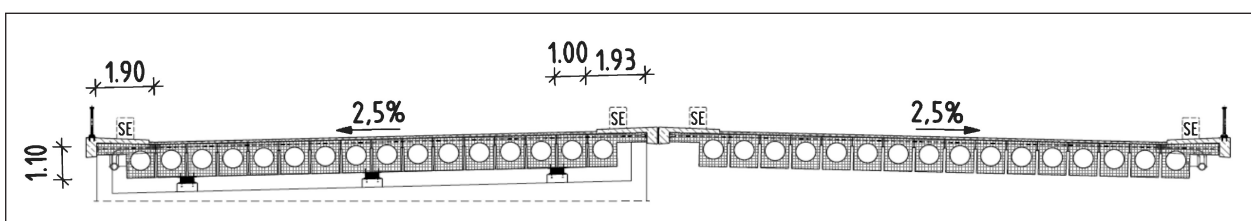


Bild 3-37: Spannbetonhohlkästen mit einbetonierten Rohren

Herstellung eines vollständigen Einzelträgers

Der Einzelträger wird in seiner vollständigen Länge im Werk hergestellt. Um einen Hohlkasten zu bilden, stehen mehrere Möglichkeiten zur Verfügung. Die Hohlraumbildung wird durch Einsatz von Körpern aus Extrudierten Polystyrol-Hartschaum oder dicht geschweißten Rohren zwischen den Bewehrungslagen erreicht. Die Vorspannung wird durch Betonage im Spannbett oder durch den Einbau von Spannlitzen im nachträglichen Verbund aufgebracht. In Querrichtung werden im Betonobergurt in einem engmaschigem Abstand Hüllrohre zum Einziehen der Quervorspannung angeordnet. Ein Einzelträger kann auch aus mehreren getrennt voneinander hergestellten Einzelsegmenten zusammengesetzt werden. Dabei erfolgt die Herstellung der Einzelsegmente in stehender Schalungsform. Der Hohlkörper wird dabei durch eine innere Schalung ausgebildet. Diese Schalung wird beim Ausschalen des Elementes entfernt.

Ein wichtiger Punkt ist die Aushärtung und Lagerung des Trägers im Fertigteilwerk. Durch konkrete Steuerung dieses Prozesses sowie bewusster Wahl des Zeitpunktes zum Aufbringen der Vorspannkraft – nur relevant bei der Verwendung von Spannlitzen mit nachträglichem Verbund – kann die gleichmäßige Überhöhung aller Träger eines Überbaus erreicht werden. Es gibt weiterhin die Möglichkeit ein zusätzliches Spannglied je Träger einzulegen. Mit dem nachträglichen Anspannen dieses Spanngliedes kann die Höhenkorrektur des Trägers vorgenommen werden.

Montage der Träger

Nach der Werksfertigung werden die Träger auf die Baustelle gebracht und mittels Auto- oder Raupen-

kran vom Tieflader direkt in Einbaulage gehoben. Je nach Art der Überbaukonstruktion werden vor der Auflagerbank noch temporäre Auflagerträger angeordnet, um diese ausrichten zu können. Die Träger müssen passgenau verlegt und positioniert werden.

Bildung des Überbaus

Nach dem Verlegen und dem Ausrichten der Träger müssen diese noch miteinander verbunden werden, um die Tragwirkung in Querrichtung zu erreichen. In den in Querrichtung angeordneten Hüllrohren werden Spannglieder eingezogen. Über diese Spannglieder werden die Einzelträger in Querrichtung verspannt. Die Schubtragfähigkeit der Fuge zwischen den Trägern ist ein ganz wesentliches Konstruktionselement, weil darüber sichergestellt wird, dass der gesamte Brückenabschnitt am Lastabtrag beteiligt wird und bei Belastung einzelner Träger kein Kantensatz zwischen den Trägern oder ein Aufgehen der Fuge entsteht. Im Wesentlichen wird die Tragfähigkeit durch die Größe der Kontaktfläche sowie der Rauheit dieser und der aufgetragenen Vorspannkraft beeinflusst.

Im vorliegenden Fall soll eine schmale Fuge in der Bauform einer Pressfuge mit Epoxidharzmörtel oder eine Trockenfuge ausgeführt werden. Um den hohen Toleranzanforderungen an die Passgenauigkeit gerecht zu werden, muss die Fugenfläche nachgearbeitet, das heißt geschliffen werden. Um die erforderlichen Toleranzen umsetzen zu können, muss die Nachbearbeitung unter Zuhilfenahme von CNC-Technik erfolgen.

Wesentlich ist noch die Entscheidung, ob am Trägerende ein Endquerträger mit ausgebildet werden soll. Bei der Ausbildung eines Endquerträgers wird

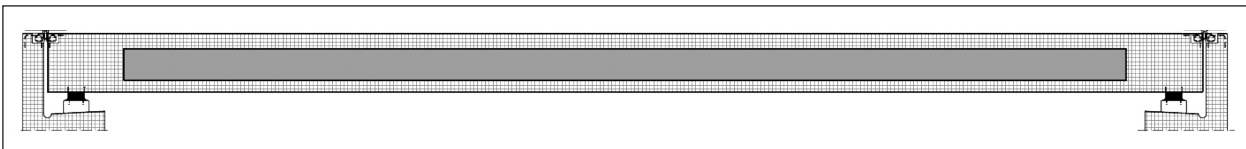


Bild 3-38: Längsschnitt Einzelfeldträger Spannbetonhohlkasten mit eingesetzten Polystyrolkörpern

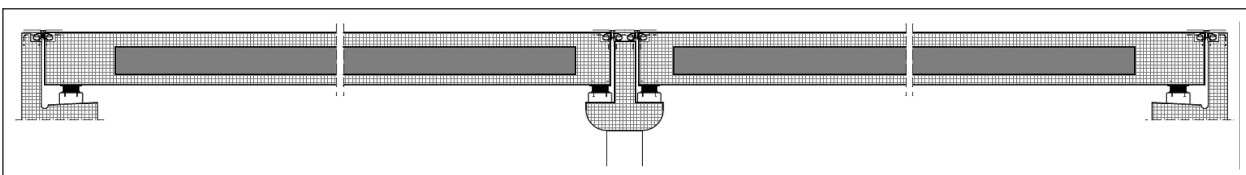


Bild 3-39: Längsschnitt, Spannbetonhohlkasten Einfeldträgerkette mit eingesetzten Polystyrolkörpern

nicht nur im Obergurt quer vorgespannt, sondern auch im unteren Bereich des Endquerträgers. Dadurch kann die volle Tragfähigkeit des Endquerträgerquerschnittes sichergestellt werden.

Im Zuge der weiteren Untersuchung wird die Notwendigkeit von Schubnocken geprüft. Diese würden jedoch eine Montage erschweren.

Lagerung

Die Lagerung erfolgt je Lagerungsachse über drei, unter dem Endquerträger oder Zwischenaufgänger angeordneten, Elastomerlagern. Dies ist jedoch nur möglich, wenn an den Trägerenden Endquerträgerstummel mit ausgebildet worden sind und über deren Vorspannung ein richtiger Endquerträger erzeugt worden ist. Wenn jedoch darauf verzichtet werden soll, muss unter jedem Längsträgerende ein Lager angeordnet werden. Dies hat den Nachteil, dass eine Vielzahl von Lagern benötigt wird, vereinfacht jedoch die Verbindung der Einzelträger deutlich.

Herstellung der Durchlaufwirkung bei Mehrfeldbauwerken

Mit dieser Bauweise kann keine Durchlaufwirkung hergestellt werden, da auf eine Ortbetonergänzung verzichtet werden soll.

Mehrfeldbauwerke können durch Ausbildung von Einfeldträgerketten hergestellt werden. Dabei sollten Loslager und Festlagerpunkte sich immer abwechseln, um den aufzunehmenden Dehnweg der notwendigen Übergangskonstruktion zu minimieren.

Entwässerung, Abdichtung, Kappe und Fahrbahn

Bei dieser Variante sind die Rohre und Aussparungen für die Straßenabläufe bereits im Fertigteil vorgesehen.

Nach Montage und Verbindung der Träger ist nachträglich eine Überbauabdichtung aufzubringen. Auf den Randträger werden entsprechende Kappen aufgesetzt. Hinsichtlich der Möglichkeit der Kappenausbildung ist in dem Kapitel 3.6 näheres zu finden. Zum Abschluss wird ein Belag nach ZTV-ING 7-1, bzw. RE-ING aufgebracht.

Vergleichbare Bauweisen außerhalb Deutschlands

Diese Art Brückenüberbauten auszubilden ist nicht gänzlich neu. Sie wird derzeit schon in den Niederlanden angewendet. Aufgrund der Fertigteilwerkstruktur werden in diesem Land Einzelträger mit Gesamtlängen von bis zu 70 m und einem Gesamt-

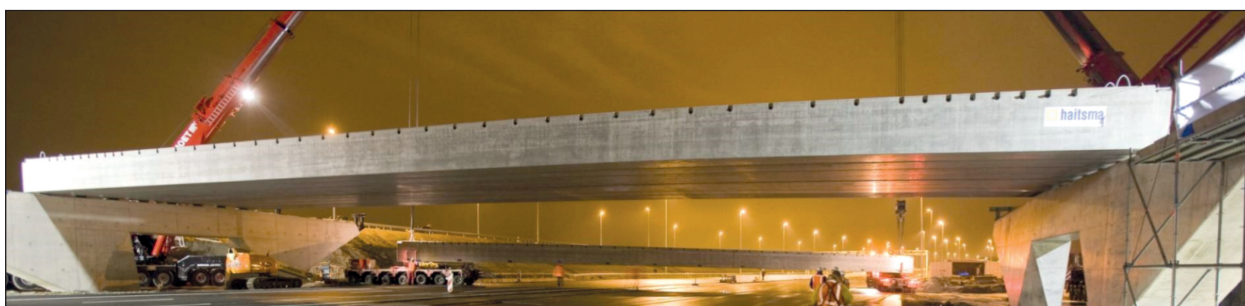


Bild 3-40: Haitsma Kastenträger [49]

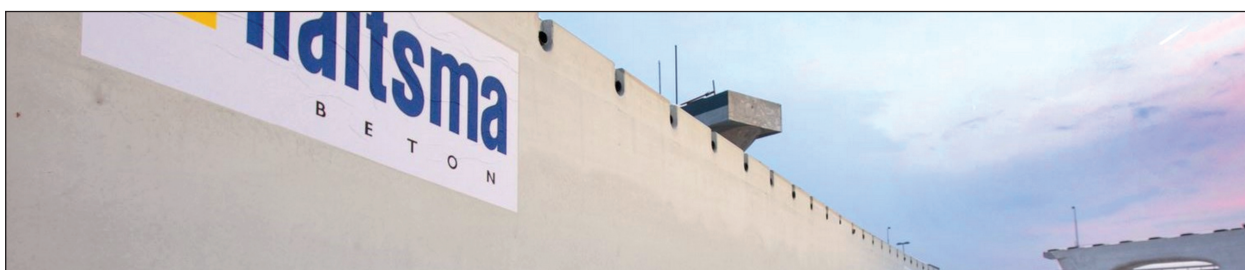


Bild 3-41: Haitsma Hohlprofil, Detailaufnahme [49]



Bild 3-42: Haitsma Hohlprofil, Mehrfeldbauwerk [49]

gewicht von bis zu 280 t vorgefertigt und auf die Baustelle transportiert.

Vorteile

- Tragfähiger leichter Querschnitt,
- kurze Montagezeiten vor Ort,
- kein Ortbetonverguss erforderlich,
- Belag kann unmittelbar nach der Trägermontage aufgebracht werden.

Nachteile

- Montagefuge in Längsrichtung vorhanden,
- unterseitig große Querschnittfläche mit engem Spalt vorhanden,
- hohe Anforderungen an die Maßgenauigkeit – CNC-Bearbeitung erforderlich,
- nur Einfeldträgerketten mit entsprechenden Fahrbahnübergangskonstruktionen möglich,
- Herstellung von Durchlaufbauwerken nur mit größerem Aufwand möglich,
- unzugängliche Hohlräume.

Detailierungspunkte, welche bei der Bearbeitung der Konzepte für die Realisierung noch zu betrachten sind

- Wie soll die Fugen zwischen Trägerelementen ausgebildet werden? Trockenfugen oder Pressfuge mit Epoxidharzmörtel?
- Ist ein zusätzliches Dichtungsprofil zu integrieren, um zusätzlichen Schutz gegen Durchfeuchtung zu erhalten?
- Mit welchen Spannstählen werden die Fertigteile miteinander verspannt? Sind Spannsysteme

mit eigenem Korrosionsschutzsystem einzubauen oder werden die Spannglieder verpresst?

- Müssen die Spannglieder ausgetauscht werden können?
- Wie wird der Ankerkopf am Brückenrand integriert und verwahrt?
- Welche Toleranzen müssen bei der Herstellung der Fertigteile eingehalten werden – Trägerform, Kontaktstellen?
- Ist dafür eine neue Toleranznorm zu erstellen?
- Über welche Baugruppen erfolgt der Toleranzausgleich zu den Unterbauten?
- Wie können nicht mehr zugängliche Hohlräume geprüft werden? Muss man das überhaupt?
- Wie wird die Lagesicherheit der integrierten Hohlkörper beim Betoniervorgang sichergestellt?
- Wie kann die Überhöhung mit einem zusätzlichen Spannglied nachjustiert werden?

3.5.2 Variante ÜB 2 – Spannbetonquerschnitt in Plattenbalken- oder I-Trägerform verlegt als Trägerschar

Beschreibung

Mit dieser Variante soll der Überbauquerschnitt aus im Werk gefertigten und in Längsrichtung vorgespannten Spannbetonvollträger in der Bauform Plattenbalken oder I-Träger hergestellt werden. Dabei besteht ein Überbau aus einer bestimmten Anzahl von Trägerelementen, die vorgefertigt und auf der Baustelle als Trägerschar nebeneinander gelegt und verbunden werden. Um den Überbau realisieren zu können werden drei verschiedene Trägerelemente benötigt. Zwei Randträgerelemente – den Innen- und den Außenträger – und dann noch Mit-

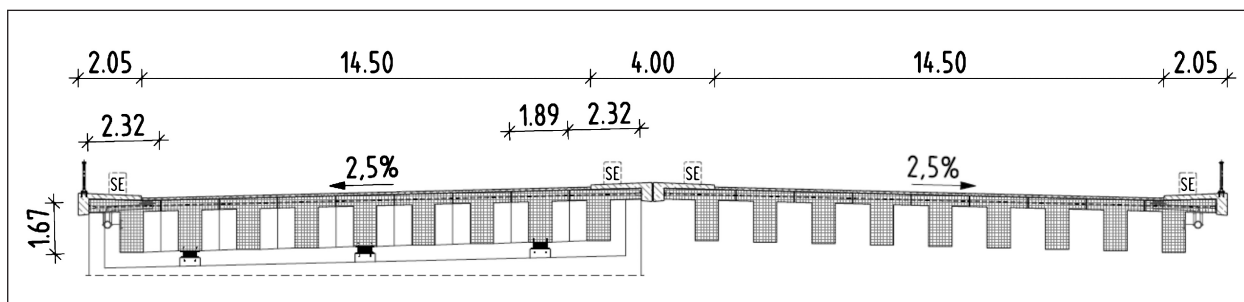


Bild 3-43: Spannbetonplattenbalken

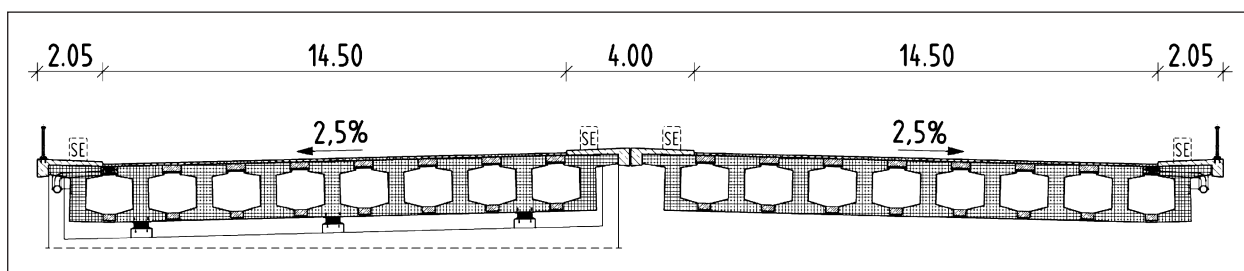


Bild 3-44: Spannbeton I-Träger mit Vergussöffnung

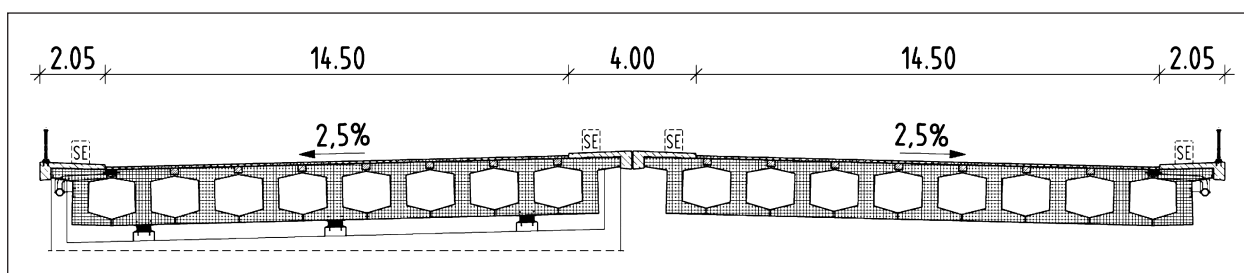


Bild 3-45: Spannbeton I-Träger, querverspannt

telträgererelemente. Diese Variante kann der in Längsrichtung geteilten und damit modularisierten Überbauten zugeordnet werden.

Herstellung eines vollständigen Einzelträgers

Der Einzelträger wird in seiner vollständigen Länge im Werk hergestellt. Die Herstellung dieser Trägerform ist letztlich eine Erweiterung des Spannbetonfertigteilträgers mit Ortbetonergänzung. Es kann auf erprobte Schalformen und Herstellungsverfahren zurückgegriffen werden. Höhere Anforderungen werden in diesem Fall an die seitliche Schalung des Obergurtes gestellt, weil darüber die Passgenauigkeit der Träger untereinander sichergestellt wird und die Nacharbeitung begrenzt werden soll. Die Vorspannung wird durch Betonage im Spannbett oder durch den Einbau von Spannritzern mit nachträglichem Verbund aufgebracht.

In Querrichtung werden im Betongurt in einem engmaschigem Abstand Hüllrohre zum Einziehen der Quervorspannung angeordnet.

Die in der Variante 3.5.1 beschriebenen Hinweise zur Aushärtung der Träger gelten hier gleichermaßen.

Montage der Träger

Nach der Werksfertigung werden die Träger auf die Baustelle gebracht und mittels Auto- oder Raupenkrane vom Tieflader direkt in Einbaulage gehoben. Je nach Art der Überbaukonstruktion werden vor der Auflagerbank noch temporäre Auflagerträger angeordnet, um diese ausrichten zu können. Die Träger müssen passgenau verlegt und positioniert werden.

Bildung des Überbaus

Nach dem Verlegen und dem Ausrichten der Träger müssen diese noch miteinander verbunden werden, um die Tragwirkung in Querrichtung zu erreichen. In den in Querrichtung angeordneten Hüllrohren werden Spannglieder eingezogen.

Bei der Verwendung der Spannbetonplattenbalkenform ist die Bildung des Überbaus, sowie die Ausbildung der Endquerträgerstummel identisch mit der Variante 3.5.1 und kann dort unter „Bildung des Überbaus“ nachgelesen werden.

Die Bauform der Spannbeton I-Träger benötigt keine Quervorspannung. An den Außenseiten der Obergurte sind Aussparungen vorgesehen. Wenn alle Träger verlegt und ausgerichtet sind, wird der Verbund durch Vergießen der Mörtelschlösser erreicht. Im Bereich des Stoßes der Endquerträgerstummel erstreckt sich das Mörtelschloss über die gesamte Höhe. Auch der Einbau von zusätzlicher Bewehrung ist dabei obligatorisch.

Lagerung

Die Lagerung erfolgt je Lagerungsachse über drei, unter dem Endquerträger oder Zwischenaufgänger angeordneten, Elastomerlagern. Je nach Brückenlänge können auch Kallottenlager notwendig werden.

Herstellung der Durchlaufwirkung bei Mehrfeldbauwerken

Wenn auf eine Ortbetonergänzung verzichtet werden soll, kann mit dieser Bauweise keine Durchlaufwirkung hergestellt werden. Mehrfeldbauwerke

können dann durch Ausbildung von Einfeldträgerketten hergestellt werden. Dabei sollten Loslager und Festlagerpunkte sich immer abwechseln, um den aufzunehmenden Dehnweg der notwendigen Übergangskonstruktion zu minimieren.

Sollte eine Durchlaufwirkung nicht entbehrlich sein, so kann diese durch Ausführung einer Ortbetonergänzung im Zwischenaufgängerbereich hergestellt werden. Die Fertigteilträger werden dafür im Obergurt und Zwischenaufgängerträger entsprechend ausgespart. Im Aussparungsbereich wird nach dem Verlegen der Träger eine Zusatzbewehrung eingebaut und die Ortbetonergänzung vorgenommen.

Entwässerung, Abdichtung, Kappe und Fahrbahn

Das Vorgehen zum Herstellen der Entwässerung, Abdichtung und Kappen sowie der Fahrbahn ist identisch mit dem der Variante 3.5.1 und kann dort unter „Entwässerung, Abdichtung, Kappe und Fahrbahn“ nachgelesen werden.

Vergleichbare Bauweisen außerhalb Deutschlands

Der Spannbeton I-Träger mit Mörtelschloss wird durch Fertigteilwerke in den Niederlanden hergestellt.

Vorteile

- Tragfähiger bewährter Querschnitt,
- kurze Montagezeiten vor Ort,
- kein Ortbetonverguss erforderlich (nur Plattenbalken und Einfeldträger),



Bild 3-46: Haitsma I-Profil [48]

- Abdichtung kann unmittelbar nach der Trägermontage aufgebracht werden, ohne Wartezeit (nur Plattenbalken),
- kompakte Unterseite (nur I-Träger),
- erforderliche Maßgenauigkeit vergleichsweise geringer (nur I-Träger),
- keine Hohlräume vorhanden (nur Plattenbalken).

Nachteile

- Montagefuge in Längsrichtung vorhanden,
- unterseitig große Querschnittfläche vorhanden (nur Plattenbalken),
- Herstellung der Durchlaufwirkung nur durch Ortbeton möglich,
- hohe Maßgenauigkeit erforderlich – CNC-Bearbeitung erforderlich,
- Einzellängen größer 30 m ergeben hohe Transportgewichte,
- Verguss notwendig (nur I-Träger),
- verzögertes Aufbringen der Abdichtung (nur I-Träger oder Durchlaufträger),
- unzugänglicher nicht abgedichteter Hohlkastenquerschnitt (nur I-Träger).

Detailierungspunkte, welche bei der Bearbeitung der Konzepte für die Realisierung noch zu betrachten sind

- Bei dieser Variante stellen sich die gleichen Fragen, wie bei der Variante des Kapitels 3.5.1.

3.5.3 Variante ÜB 3 – Stahlverbundplattenbalken verlegt als Trägerschar

Beschreibung

Mit dieser Variante soll der Überbauquerschnitt aus im Werk gefertigten Stahlverbundplattenbalken her-

gestellt werden. Der Stahlträger ist als Hohlkasten ausgebildet. Die Konservierung der Trägers ist mit einer organischen Beschichtung nach ZTV-ING Teil 4, Kapitel 3 [14] vorgesehen. Dabei besteht ein Überbau aus einer bestimmten Anzahl von Trägerelementen, die vorgefertigt und auf der Baustelle als Trägerschar nebeneinander gelegt und verbunden werden. Um den Überbau realisieren zu können werden drei verschiedene Trägerelemente benötigt. Zwei Randträgerelemente – den Innen- und den Außenträger – und dann noch Mittelträgerelemente. Diese Variante kann der in Längsrichtung geteilten und damit modularisierten Überbauten zugeordnet werden.

Herstellung eines vollständigen Einzelträgers

Die Herstellung der Träger ist identisch mit der Herstellung von konventionellen Stahlverbundfertigteilträgern. Der Unterschied besteht lediglich darin, dass mit dem Herstellen des Betonobergurtes Stahlbaufertigungstoleranzen ausgeglichen werden müssen, da auf der Baustelle keine Korrekturmöglichkeiten mehr bestehen. Auch für die seitliche Abschalung während der Obergurtherstellung sind erhöhte Toleranzanforderungen zu beachten, da die Einzelträger mit geringer Nacharbeit bzw. Vorbereitung auf der Baustelle aneinander gefügt werden sollen. Des Weiteren werden an den Trägerenden seitliche Endquerträgerstummel angebaut. In Querrichtung werden im Betongurt in einem engmaschigen Abstand Hüllrohre zum Einziehen der Quervorspannung angeordnet.

Montage der Träger

Nach der Werksfertigung werden die Träger auf die Baustelle gebracht und mittels Auto- oder Raupenkrane vom Tieflader direkt in Einbaulage gehoben. Vor der Auflagerbank werden noch temporäre Auflagerträger angeordnet um die Träger auflegen und ausrichten zu können. Die Träger müssen passgenau verlegt und positioniert werden. Nachdem die Träger richtig liegen, werden diese über die Endquerträgerstummel miteinander verbunden. Die

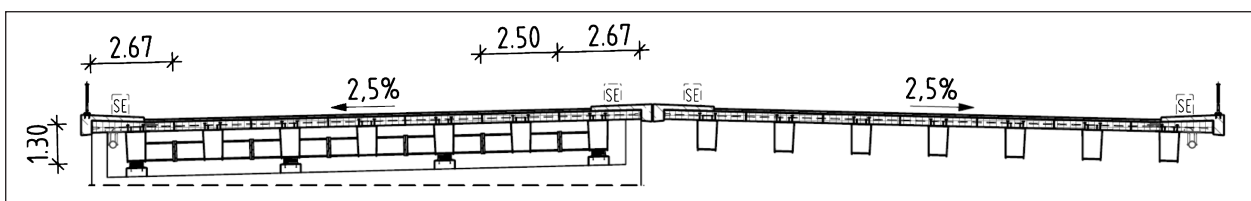


Bild 3-47: Stahlverbundplattenbalken

Verbindung erfolgt über einen Kopfplattenstoß mit hochfesten Schraubverbindungen.

Bildung des Überbaus

Die vollständige Herstellung des Überbaus erfolgt durch Verbindung der Einzelträger im Plattenbereich, welche identisch mit der Variante 3.5.1 ist und kann dort unter „Bildung des Überbaus“ nachgelesen werden.

Lagerung

Die Lagerung erfolgt je Lagerungsachse über vier Elastomerlager. Dabei werden die Elastomerlager beginnend ab dem äußeren Träger direkt unter jedem zweiten Längsträger angeordnet.

Herstellung der Durchlaufwirkung bei Mehrfeldbauwerken

Wie bei den zuvor vorgestellten Varianten können auch mit dieser Variante Einfeldträgerketten errichtet werden. Gleichzeitig ist es aber auch die erste Variante, mit der Durchlaufbauwerke ohne größere Ortbetonergänzung hergestellt werden können.

Die Herstellung der Durchlaufwirkung wird durch Ausbildung eines Kopfplattenstoßes zwischen den Längsträgern der einzelnen Felder erreicht. Die Anordnung des Stoßes ist im Bereich des 0,15-fachen der Stützweite vorgesehen, um die Beanspruchung zu reduzieren. Gleichzeitig bietet dies den Vorteil, dass sich bei der Errichtung von Mehrfeldbauwerken große Montagevorteile ergeben. In einem ersten Schritt wird der Träger im ersten Feld verlegt, welcher $0,15 \times L$ über den Zwischenauflegerpunkt hinaus reicht. Diese Träger werden dann vollstän-

dig miteinander verbunden. In einem zweiten Schritt werden dann die Träger des zweiten Feldes verlegt. Über eine temporär angebrachte Knagge können diese dann auf einer Seite direkt auf den montierten Trägern des ersten Feldes abgelegt und mit diesen über den Kopfplattenstoß verbunden werden.

Für die Ausbildung des Kopfplattenstoßes gibt es zwei Varianten.

Variante A – oberseitiger Verguss

Den Abschluss des Trägers bildet eine klassische Kopfplatte. Diese steht seitlich und unterseitig über dem Stahlquerschnitt über. In den überstehenden Bereich werden Schraubverbindungen mit hochfesten Schrauben hergestellt. Der klassische Kopfplattenstoß kann nicht vollständig hergestellt werden, da der Stahlträger durch den Betongurt von oben gedeckelt ist. Aufgrund des Verbundquerschnittes muss jedoch auch auf Höhe der Betonplatte eine durchgehende Kräfteführung ausgebildet werden. Dies soll erreicht werden, indem die Kopfplatte über den Betongurt hinaus verlängert wird. In der unteren Hälfte des Betongurtes werden an der Kopfplatte Kopfbolzendübel angeordnet, über denen der Betongurt mit der Kopfplatte verbunden wird. In der oberen Hälfte wird der Betongurt ausgespart, um den Kopfplattenstoß auch in diesem Bereich mit einer Schraubverbindung ausführen zu können. Nachdem die Schraubverbindungen hergestellt sind, wird die Aussparung im Betongurt vergossen. Auch der Obergurt des Stahlträgers wird in diesem Bereich bis zum äußeren Rand des Betongurtes verbreitert, um diesen über die gesamte Breite mit der Kopfplatte zu verbinden. Bei dieser Lösung bleiben die Schraubverbindungen auf Höhe des Betongurtes aufgrund des Vergusses dauerhaft verwahrt.

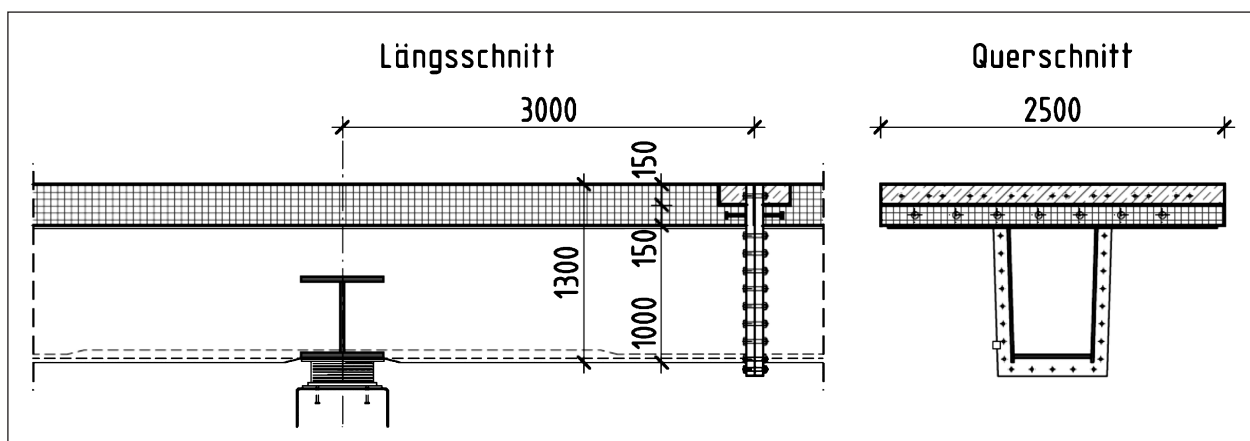


Bild 3-48: Stahlverbundplattenbalken mit oberseitigem Verguss

Ein nachträgliches Prüfen dieser Verbindungen ist nicht möglich.

Vorteile

- Entspricht fast einem standardmäßigem Kopfplattenstoß,
- Betonobergurt ist über die gesamte Breite angeschlossen.

Nachteile

- Betonverguss auf der Baustelle notwendig,
- Schrauben im Bereich des Betonobergurte aufgrund des Vergusses nicht mehr zugänglich,
- dadurch können die Schrauben nicht mehr geprüft werden.

Variante B – unterseitige Montagetaschen

Die nachträgliche Prüfbarkeit der oberen Schraubverbindungen sowie der auf der Baustelle auszuführende Verguss ist der Ausgangspunkt der Variante B. Es sollte eine Möglichkeit gefunden werden, auch die oberen Schrauben nachträglich prüfen zu können und auf den Verguss verzichten zu können.

Das System der Variante A wird weitestgehend beibehalten. Was sich jedoch ändert ist, dass die Zugänglichkeit der oberen horizontalen Schraubverbindung nach unten verlagert wird. Dies geschieht darüber, dass die Bereiche der Schrauben mit einem gekanteten Blech umschlossen werden und der nach außen geführte Obergurt in diesem Bereich ausgespart wird. Die Schrauben können dadurch von der Unterseite eingebaut und vorgespannt werden. In diesem Bereich bleiben die

Schrauben auch dauerhaft zugänglich. Ein oberseitiger Verguss ist hier nicht notwendig.

Vorteile

- Kein Betonverguss auf der Baustelle notwendig,
- alle Schraubverbindungen sind dauerhaft einsehbar und prüfbar,
- Montage von der Unterseite ohne nachträglichen Verguss möglich.

Nachteile

- Betongurt ist nicht über die gesamte Breite angeschlossen (Nachteil kann bei der Verwendung von Stahlträgern mit doppel T-Querschnitt reduziert werden,
- Stahlbaukonstruktion im Vergleich zur Variante A aufwendiger.

Entwässerung, Abdichtung, Kappe und Fahrbahn

Das Vorgehen zum Herstellen der Entwässerung, Abdichtung und Kappen sowie der Fahrbahn ist identisch mit dem der Variante 3.5.1 und kann dort unter „Entwässerung, Abdichtung, Kappe und Fahrbahn“ nachgelesen werden.

Vergleichbare Bauweisen außerhalb Deutschlands

Im Ausland sind sicherlich vergleichbare Bauweisen umgesetzt worden, welche im Rahmen des Forschungsprojektes nicht ermittelt werden konnten.

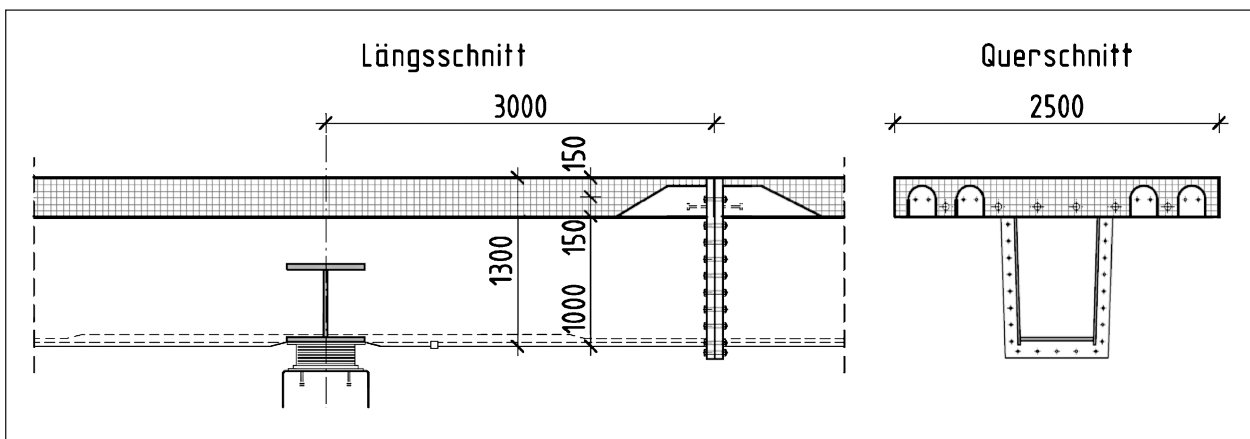


Bild 3-49: Stahlverbundplattenbalken mit unterseitigen Montagetaschen

Vorteile

- Tragfähiger bewährter Querschnitt,
- kurze Montagezeiten vor Ort,
- im Vergleich zu den Varianten der Spannbetonträger ein sehr leichter Querschnitt,
- kein Ortbetonverguss erforderlich,
- Durchlaufwirkung kann hergestellt werden,
- Fahrbahnplatte in Längsrichtung dauerhaft vorgespannt,
- Abdichtung kann unmittelbar nach der Trägermontage aufgebracht werden, keine Wartezeit.

Nachteile

- Montagefuge in Längsrichtung vorhanden,
- Durchlaufwirkung nur mit Kopfplattenstoß möglich,
- hohe Maßgenauigkeit erforderlich – CNC-Bearbeitung erforderlich.

Detailierungspunkte, welche bei der Bearbeitung der Konzepte für die Realisierung noch zu betrachten sind

- Bei dieser Variante stellen sich die gleichen Fragen, wie bei der Variante des Kapitels 3.5.1.

3.5.4 Variante ÜB 4 – Stahlverbundplattenbalken mit nachträglich aufgesetzter längs vorgespannter Platte

Beschreibung

Der Überbau wird bei dieser Variante als ein auf der Baustelle zusammengesetzter Verbundquerschnitt ausgeführt. Dabei werden die Stahlträger und die

Spannbetonplattenelemente getrennt gefertigt. Die längs spannenden Stahlträger werden zuerst montiert. Auf diesen werden anschließend die in Querrichtung spannenden Spannbetonplatten verlegt, welche im Anschluss in Längsrichtung zentrisch verspannt werden. Der Verbund zwischen den Plattenelementen und den Stahlträgern wird erst auf der Baustelle nach entsprechender Positionierung der Elemente durchgeführt. Die Korrosionsschutz der Stahlträger ist mit einer organischen Beschichtung nach ZTV-ING Teil 4, Kapitel 3 [14] vorgesehen.

Diese Variante kann der in Querrichtung geteilten und damit modularisierten Überbauten zugeordnet werden.

Herstellung eines vollständigen Einzelträgers

Die Herstellung der Stahlbauträger erfolgt klassisch. Der einzige Unterschied besteht darin, dass hinsichtlich der Abweichungen von der geplanten Trägerüberhöhung verschärfte Anforderungen bestehen. Ein Grund dafür ist, dass mit den nachträglich aufgesetzten Plattenelementen nicht beliebig große Toleranzen ausgeglichen werden können. Die Spannbetonplattenelemente werden konventionell hergestellt. Es bestehen hierbei erhöhte Anforderungen an die seitliche Schalung, da dies die künftige Kontaktfläche der einzelnen Plattenelemente darstellt. Um ein passgenaues Zusammensetzen der Plattenelemente sicherzustellen, muss die Kontaktfläche geschliffen werden. Dies ist unter Zuhilfenahme von CNC-Technik auszuführen.

Montage der Träger

Nach der Werksfertigung werden die Träger und Plattenelemente auf die Baustelle gebracht und mittels Auto- oder Raupenkran vom Tieflader direkt in Einbaulage gehoben. Zuerst werden die Stahlträger auf, vor der Auflagerbank temporär aufgebaute Auf-

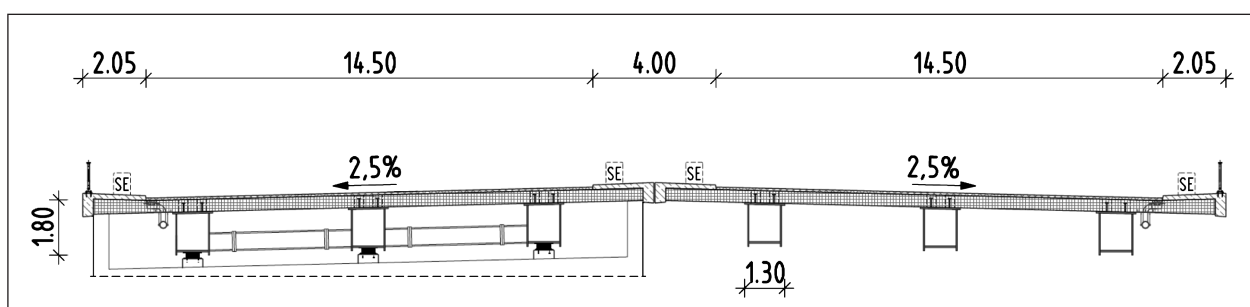


Bild 3-50: Stahlverbundquerschnitt mit aufgesetzter längs vorgespannter Platte

lagerkonstruktionen, verlegt und ausgerichtet. Durch die angeschweißten Endquerträgerstummel können die einzelnen Träger durch Einbau von Zwischenstücken miteinander gekoppelt werden. Dadurch werden sie in ihrer Lage gesichert. Auf dieses Trägerrost werden dann die Plattenelemente verlegt und positioniert. Nachdem sie ausgerichtet sind, werden Sie durch den Einbau von Spanngliedern zentrisch vorgespannt.

Bildung des Überbaus

Um einen Verbundquerschnitt zu erhalten, müssen die Plattenelemente noch mit den Stahlträgern verbunden werden.

Dazu gibt es mehrere, in der Vergangenheit schon ausgeführte, Möglichkeiten

Möglichkeit 1 – Zylindrische Vergussöffnung mit nachträglich eingesetzten Kopfbolzendübeln

In der Spannbetonplatte werden im Bereich der geplanten Kopfbolzendübel zylindrische Öffnungen ausgeführt. Nachdem die Plattenelemente verlegt und ausgerichtet sind, werden vor Ort die Kopfbolzendübel aufgeschossen. Nach der Reinigung der Öffnungen werden diese vergossen, um einen wirk-samen Verbund zu erreichen.

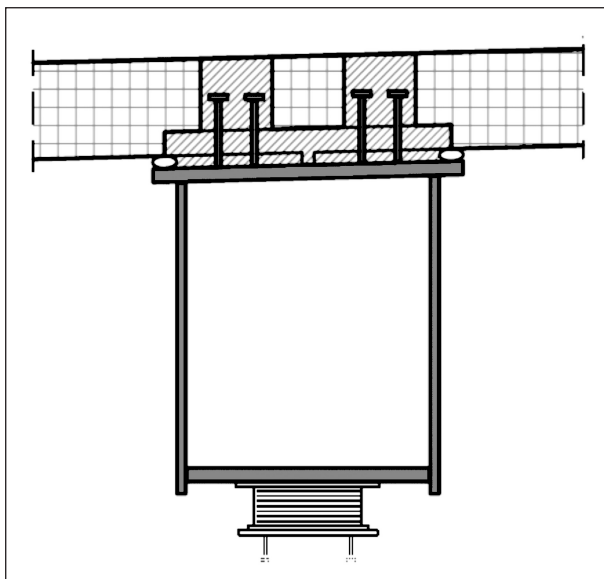


Bild 3-51: Zylindrische Vergussöffnungen, Verbundwirkung mittels nachträglich aufgesetzter Kopfbolzendübel

Dieses Verfahren wurde bei der Brückenbaumaßnahme PS 13 zwischen Villefranche-sure-Cher und Theillay eingesetzt [7].

Vorteile

- Keine störenden Verbindungsmittel während der Plattenmontage vorhanden,
- Toleranzanforderung zur Lage der Verbindungsmittel bezogen auf die Öffnungen der Vergussöffnung der Platte gering, da die Verbundmittel erst im Nachgang eingesetzt werden.

Nachteile

- Aufsetzen der Verbindungsmittel witterungsabhängig,
- aufwendige Montage der Verbindungsmittel vor Ort notwendig,
- diesbezüglicher Reinigungsaufwand erheblich,
- dadurch Bauzeitverlängerung vor Ort,
- kleinteilige Vergussstruktur mit nach oben hin geöffneter Vergussöffnung,
- Schwindrisse treten hierbei an der Plattenoberseite zutage,
- aufwendiges Herstellen der Vergussöffnungen bei der Plattenfertigung.

Möglichkeit 2 – Verbundkanal mit nach oben hin geöffneten Vergussöffnungen

Bei dieser Variante wird an der Plattenunterseite ein Vergusskanal ausgeführt, der so dimensioniert ist, dass die Kopfbolzendübel schon im Werk auf den Stahlträger aufgeschossen werden können. Auch ein Bewehrungskorb zur Umhüllung der Verbundmittel hat noch Platz. Der Kanal ist auf der Innenseite entsprechend profiliert, sodass eine günstige Schubkraftübertragung erreicht wird. Je Plattenelement erhält jeder Kanal zwei, zur Oberseite hin geöffnete Vergussöffnungen. Über diese werden die Kanäle mit Beton vergossen. Dieses Verfahren wurde bei einem Brückenbauwerk in Frankreich angewendet [7].

Es ist auch denkbar, dass auf den Vergusskanal verzichtet wird, indem die Vergussöffnungen vergrößert und die Verbindungsmittel in diesem Bereich in der Form einer Dübelgruppe angeordnet werden.

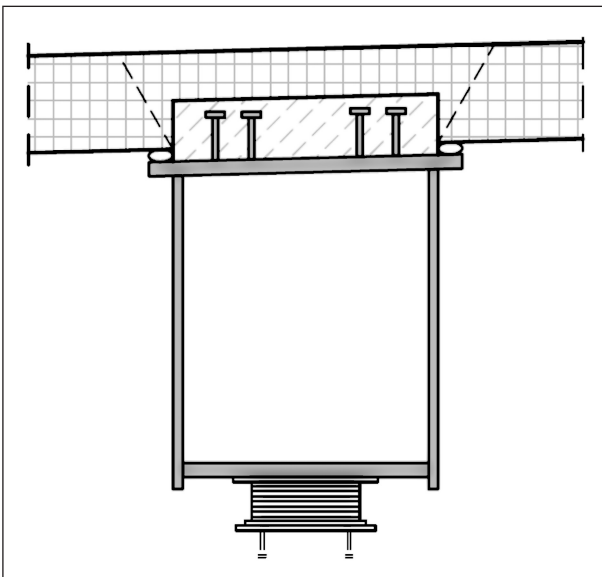


Bild 3-52: Verbundkanal

Vorteile

- Durch den Vergusskanal ist die Montage der Plattenelemente vergleichsweise einfach,
- Toleranzanforderung zur Lage der Verbindungsmittel bezogen auf den Vergusskanal der Platte gering, da eine lineare in der Breite einheitliche Öffnung besteht,
- Verbindungsmittel werden schon in der Werkfertigung aufgesetzt,
- dadurch beschleunigte Bauzeit.

Nachteile

- Nach oben hin geöffnete Vergussöffnungen,
- Gefahr von Schwindrissen im Bereich der Vergussöffnungen,
- aufwendiges Herstellen der Vergussöffnungen und des Vergusskanals bei der Plattenfertigung,
- Einbau eines Bewehrungskorbes auf der Baustelle notwendig,
- Gefahr von Fehlstellen im Vergusskanal.

Möglichkeit 3 – Verbundkanal injizierte Fuge – Oberseite geschlossen

Bei dieser Möglichkeit erhalten die Plattenelemente an der Unterseite einen Injektionskanal. Dieser ist so dimensioniert, dass darin die auf den Stahlträger aufgesetzten Verbundmittel ausreichend Platz ha-

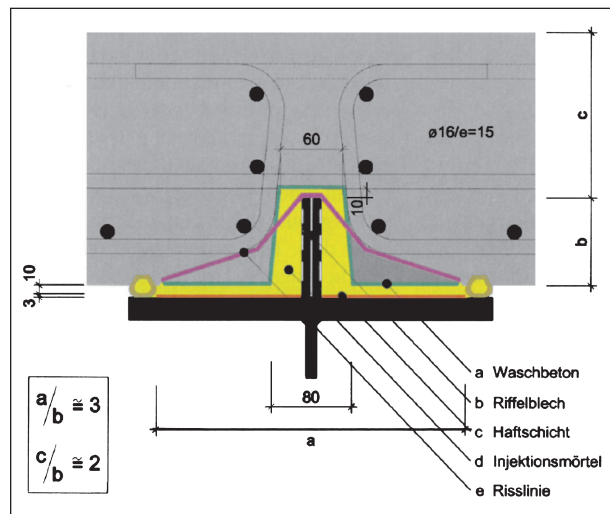


Bild 3-53: Verbundfuge – Abmessungen, Proportionen, Bewehrung und Risslinie [15]

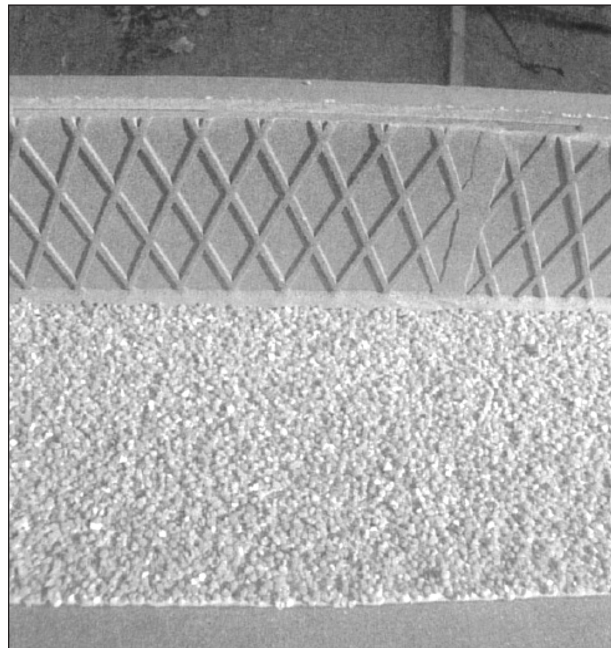


Bild 3-54: Haftschrift und Riffelblech (Fugentyp: HR) [15]

ben und eine sichere Umhüllung erreicht wird. Bei dieser Variante gibt es keine nach oben gerichtete Vergussöffnungen, sondern es erfolgt ein Verpressen des Kanals ähnlich wie beim Verpressen von Spannglied-Hüllrohren. Neu ist hier auch, dass keine Kopfbolzendübel zum Einsatz kommen, sondern ein mit einer Doppelkehlnaht aufgeschweißtes Riffelblech das Verbundmittel darstellt. Zur Sicherstellung der Schubkraftübertragung wird die Betonfläche im Bereich des Injektionskanals durch Freilegen des Korngerüsts aufgeraut. Zusätzlich wird auf der Oberseite des gestrahlten Obergurtes eine Epoxidharzhaftmasse mit Quarzsandeinstreuung hergestellt, um die Rauigkeit zu erhöhen.

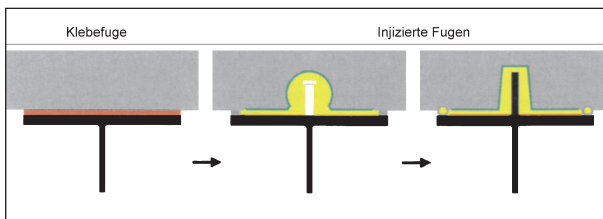


Bild 3-55: Entwicklung der Verbundfugen [15]

Dieses Verfahren wurde von Dr.-Ing. Hans-Gerhard Dauner im Jahr 2006 entwickelt und im Artikel „Klebeteknik für den schnellen und wirtschaftlichen Bau von Verbundbrücken“ in der Zeitschrift Stahlbau 75, Heft 7, [15, S. 551-557] ausführlich beschrieben. In diesen Berichten wurde auch ein Bemessungsansatz für die Schubkapazität der Fuge dargestellt. Zur Auswahl der Verbundmittel wurden verschiedenste Versuche an der ICOM, dem Institut für Stahlbau an der ETH Lausan durchgeführt. Dabei wurden für das Riffelblech vergleichbare Tragfähigkeiten wie für Dübel und Dübelleisten ermittelt.

Vorteile

- Keine nach oben hin geöffneten Vergusskanäle notwendig, dadurch ist die Gefahr von Schwindrisen an der Plattenoberseite gebannt,
- keine zusätzlichen Bewehrungsarbeiten auf der Baustelle notwendig,
- schnelles Verfahren zur Verbundherstellung.

Nachteile

- Neues Verfahren, bei dem noch keine Praxiserfahrungen vorliegen,
- bis zur praxisreifen Anwendbarkeit ist noch umfangreiche Forschung erforderlich,
- aufwendigere Vorbereitungsschritte am Stahlträger,
- Abstimmung der Verformung der Träger mit den Betonplatten.

Lagerung

Die Lagerung erfolgt je Lagerungsachse über drei Elastomerlager. Dabei werden die Elastomerlager direkt unter den Längsträgern angeordnet.

Herstellung der Durchlaufwirkung bei Mehrfeldbauwerken

Die Herstellung der Durchlaufwirkung kann durch Anwendung der in Kapitel 3.5.3 im Absatz „Durchlaufwirkung“ beschriebenen Verfahren A und B umgesetzt werden. Dabei vereinfacht sich die Methode in diesem Fall, da der Betongurt – die Platte – erst nach Verbindung der Längsträger aufgesetzt wird und dadurch im Plattenbereich keine Unterbrechung besteht.

Entwässerung, Abdichtung, Kappe und Fahrbahn

Das Vorgehen zum Herstellen der Entwässerung, Abdichtung und Kappen sowie der Fahrbahn ist identisch mit dem der Variante 3.5.1 und kann dort unter „Entwässerung, Abdichtung, Kappe und Fahrbahn“ nachgelesen werden.

Vergleichbare Bauweisen außerhalb Deutschlands

Der Forschungsansatz wurde in der Schweiz entwickelt. In einem 1:1 Versuch an einem 50 m langen Brückenabschnitt konnte seitens des Entwicklers die prinzipielle Machbarkeit nachgewiesen werden [15].

Vorteile

- Tragfähiger bewährter Querschnitt,
- kurze Montagezeiten vor Ort,
- im Vergleich zum Spannbeton ein sehr leichter Querschnitt,
- kein Ortbetonverguss erforderlich,
- Durchlaufwirkung kann hergestellt werden,
- Fahrbahnplatte in Längsrichtung dauerhaft vorgespannt,
- Abdichtung kann unmittelbar nach der Trägermontage aufgebracht werden. Entfall der Wartezeit.

Nachteile

- Montagefuge in Querrichtung vorhanden,
- Durchlaufwirkung nur mit Kopfplattenstoß möglich,

- Vielzahl von nach oben hin geöffneten Vergussöffnungen (Verbund Möglichkeit a und b),
- hohe Maßgenauigkeit erforderlich – CNC-Bearbeitung erforderlich.

Detailierungspunkte, welche bei der Bearbeitung der Konzepte für die Realisierung noch zu betrachten sind

- Wie soll die Fugen zwischen Plattenelementen ausgebildet werden? Trockenfugen oder Pressfuge mit Epoxidharzmörtel?
- Ist eine zusätzliches Dichtungsprofil zu integrieren, um zusätzlichen Schutz gegen Durchfeuchtung zu erhalten?
- Mit welchen Spannstählen werden die Fertigteile miteinander verspannt? Sind Spannverfahren mit eigenem Korrosionsschutzsystem einzubauen oder werden die Spannglieder verpresst?
- Müssen die Spannglieder ausgetauscht werden können?
- Wie wird der Ankerkopf am Brückenrand integriert und verwahrt?
- Welche Toleranzen müssen bei der Herstellung der Fertigteile eingehalten werden – Träger- und Plattenform, Kontaktstellen?
- Ist dafür eine neue Toleranzregelung zu erstellen?
- Über welche Baugruppen erfolgt der Toleranzausgleich zu zusammensetzenden Baugruppen und zu den Unterbauten?
- Festlegung der Montagereihenfolge der Betonplatten.

3.5.5 Variante ÜB 5 – Spannbetonplatten mit einbetonierten Hohlkörpern verlegt als Trägerschar

Beschreibung

Mit dieser Variante soll der Überbauquerschnitt aus im Werk gefertigten und in Längsrichtung vorgespannten Spannbetonplattenelementen hergestellt werden. Dabei besteht ein Überbau aus einer bestimmten Anzahl von Plattenelementen, die vorge-

fertigt und auf der Baustelle als Plattenschar nebeneinander gelegt und verbunden werden. Um den Überbau realisieren zu können werden drei verschiedene Plattenelemente benötigt. Zwei Randelemente – das Innen- und das Außenelement – und dann noch Mittelelemente. Um Transport und Eigengewicht zu reduzieren, werden in die Plattenelemente Hohlkörper eingelegt.

Diese Variante kann den in Längsrichtung geteilten und damit modularisierten Überbauten zugeordnet werden.

Herstellung eines vollständigen Einzelträgers

Das Plattenelement wird in seiner vollständigen Länge im Werk hergestellt. Die Vorspannung in Längsrichtung wird durch Betonage im Spannbett aufgebracht. Um das Eigen- und Transportgewicht zu verringern, sollen Hohlkörper eingebaut werden. Diese werden durch das Einlegen von dicht geschweißten Rohren oder Kunststoffhohlkörpern hergestellt. Aufgrund der geringen Plattenhöhe werden drei bis vier Reihen dieser Hohlkörper je Plattenelement eingelegt, um eine wirksame Gewichtsreduzierung zu erreichen. In Querrichtung werden in einem engmaschigem Abstand Hüllrohre zum Einziehen der Quervorspannung angeordnet. An die seitliche Schalung der Plattenelemente werden höhere Toleranzanforderungen gestellt, weil darüber die Passgenauigkeit der Plattenelemente untereinander sichergestellt wird und die Nacharbeitung begrenzt werden soll.

Bei der Anordnung der Hüllrohre in Querrichtung ist darauf zu achten, dass diese nicht die eingesetzten Hohlkörper durchdringen.

Es besteht prinzipiell die Gefahr des Aufschwimmens der Hohlkörper beim Betonieren der Träger. Dies kann aber durch mechanische Lagesicherung verhindert werden. Zusätzlich kann die Lage der Hohlkörper nach dem Betonieren messtechnisch überprüft und überwacht werden. Auf diese Art und Weise können Schäden, wie sie in früheren Zeiten bei derartigen Bauweisen aufgetreten sind, sicher ausgeschlossen werden. Voraussetzung ist aber eine offensive und vor allem definierte Werksüberwachung.

Montage der Träger

Der Plattenelemente werden analog der Trägerelemente der Variante 3.5.2 montiert.

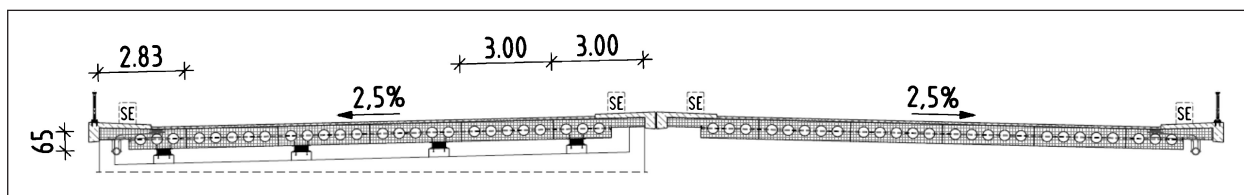


Bild 3-56: Spannbetonplatte mit einbetonierten Rohren

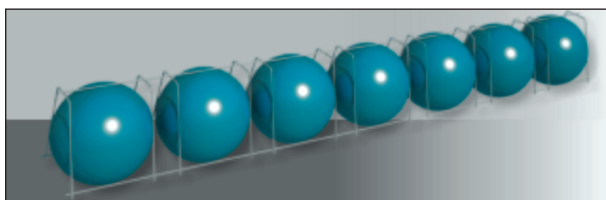


Bild 3-57: EL mit kugelförmigen Hohlkörpern speziell für große Deckenspannweiten [42]

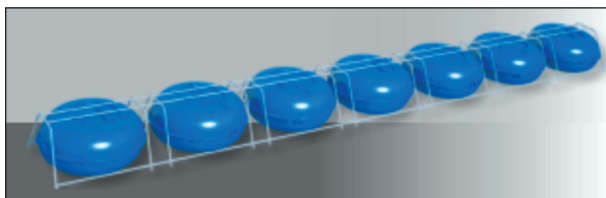


Bild 3-58: SL mit abgeflachten Hohlkörpern für besonders schlanke Betondecken [42]

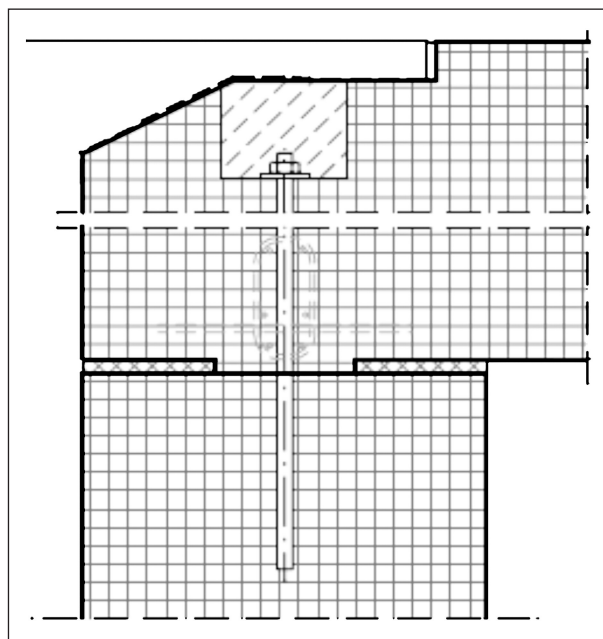


Bild 3-59: Betongelenk mit Ankerstab

Bildung des Überbaus

Der Plattenelemente werden analog der Trägerelemente der Variante 3.5.2 miteinander verbunden.

Lagerung über Lager

Die Lagerung erfolgt je Lagerungsachse über vier, unter dem Endquerträger angeordneten, Elastomerlagern.

Ausführung eines Betongelenkes

Bei dieser Variante ist es auch möglich, ein Betongelenk anzuordnen. An den Fertigteilenden werden die entsprechenden Nocken des Betongelenkes mit einer Aussparung für den notwendigen Ankerstab vorgesehen. Das Widerlagerteil hat das entsprechende Gegenstück zur Aufnahme der Plattenelemente (siehe hierzu Variante 3.4.8). Nachdem Aufsetzen der Plattenelemente auf die Widerlagerfertigteile werden die Ankerstäbe eingeklebt und vergossen.

Herstellung der Durchlaufwirkung bei Mehrfeldbauwerken

Wenn auf eine Ortbetonergänzung verzichtet werden soll, kann mit dieser Bauweise keine Durchlaufwirkung hergestellt werden. Mehrfeldbauwerke können dann durch Ausbildung von Einfeldträgerketten hergestellt werden. Dabei sollten Loslager und Festlagerpunkte sich immer abwechseln, um den aufzunehmenden Dehnweg der notwendigen Übergangskonstruktion zu minimieren.

Ausbildung von Rahmentragwerken

Mit diesen Plattenelementen können auch Rahmenbauwerke hergestellt werden. Um dies umzusetzen, ist in jedem Fall eine Ortbetonergänzung erforderlich. Zur Ausbildung der Rahmenecke stehen mehrere Varianten zur Verfügung.

Variante 1 – Ortbetonverguss von oben

Die Fertigteilplatten werden am Plattenende auf der Oberseite über eine Länge von ca. 2,00 m und einer

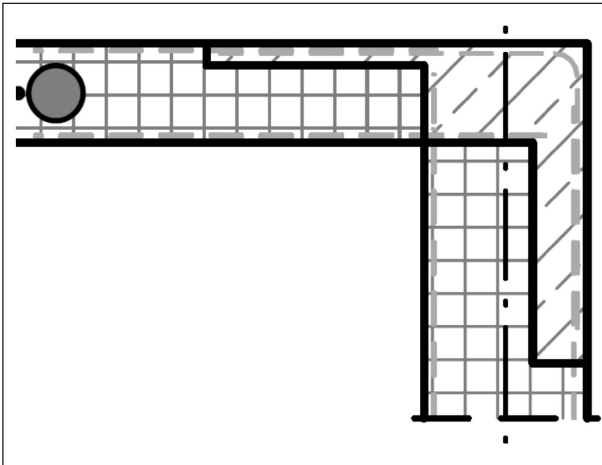


Bild 3-60: Ortbetonverguss, rückseitige Schalung, Obergurt der Plattenelemente ausgespart

Höhe von ca. 20 cm ausgespart. Gleiches wird auf der Rückseite der Widerlagerfertigteile vorgenommen. Vor Ort werden die Plattenelemente auf die Widerlagerfertigteile aufgesetzt. Anschließend wird die noch fehlende Rahmeneckbewehrung eingebaut und die rückseitige Schalung ergänzt. Die Ortbetonerfüllung der Rahmenecke kann danach ausgeführt werden. Durch diesen Ablauf wird ein Bauwerk mit einer klassischen Rahmenecke erzielt.

Vorteile

- Herstellung einer klassischen Rahmenecke,
- Vorfertigungsgrad trotz der Ortbetonerfüllung weiterhin hoch,
- einfache Herstellung,
- Anforderungen an die Passgenauigkeit vergleichsweise geringer.

Nachteile

- Ortbetonerfüllung von oben bedeutet, dass sich eine Wartezeit (Austrocknungszeit) bis zum Aufbringen der Überbauabdichtung ergibt,
- dadurch längere Bauzeit vor Ort.

Variante 2 – Ortbetonverguss von hinten

Diese Variante baut auf der Ersten auf, jedoch entfällt die oberseitige Aussparung der Plattenelemente. Die Platte erhält nur im Bereich der Rahmenecke eine unter- und rückseitige Aussparung. Die Rahmeneckbewehrung ist in den Plattenelementen schon mit einbetoniert worden. Die Widerlagerfer-

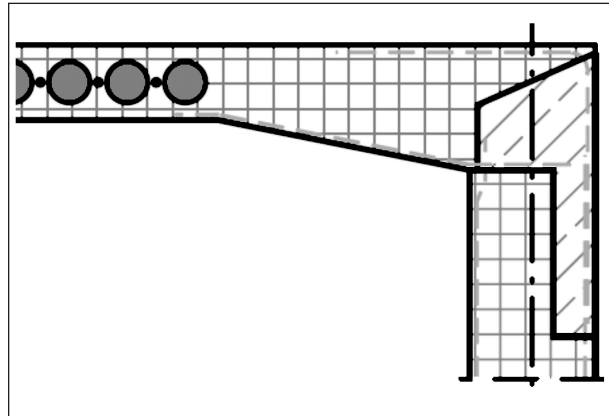


Bild 3-61: Ortbetonverguss von hinten, rückseitige Schalung mit Vergussöffnung

tigteile haben erdseitig eine entsprechende Aussparung, um die Rahmeneckbewehrung aufnehmen zu können. Nachdem die Plattenelemente auf die Widerlagerelemente aufgesetzt wurden sind, werden die restliche Bewehrung und die rückseitige Schalung ergänzt. Dabei hat die rückseitige Schalung eine Betonieröffnung, über welche die Rahmenecke verfüllt wird. Die Aussparung der Plattenelemente ist nach hinten ansteigend auszuführen, sodass beim Betoniervorgang die eingeschlossene Luft sicher entweichen kann.

Vorteile

- Herstellung einer klassischen Rahmenecke,
- Vorfertigungsgrad höher als bei Variante 1,
- die Abdichtung kann nach der Betonage der Rahmenecke ohne Wartezeit aufgebracht werden,
- dadurch erhebliche Zeitersparnis.

Nachteile

- Herstellung im Vergleich zur ersten Variante aufwendiger,
- Anforderungen an die Passgenauigkeit vergleichsweise höher.

Entwässerung, Abdichtung, Kappe und Fahrbahn

Das Vorgehen zum Herstellen der Entwässerung, Abdichtung und Kappen sowie der Fahrbahn ist identisch mit dem der Variante 3.5.1 und kann dort unter „Entwässerung, Abdichtung, Kappe und Fahrbahn“ nachgelesen werden.

Vergleichbare Bauweisen außerhalb Deutschlands

keine

Vorteile der Gesamtlösung

- Tragfähiger Querschnitt,
- kurze Montagezeiten vor Ort,
- kein Ortbetonverguss erforderlich,
- Rahmenbauwerk kann hergestellt werden,
- dauerhaft vorgespannt,
- Abdichtung kann unmittelbar nach der Trägermontage aufgebracht werden. Keine Wartezeit.
- Ausbildung im Kurvenbereich ohne Probleme möglich.

Nachteile der Gesamtlösung

- Montagefuge in Längsrichtung vorhanden,
- Durchlaufwirkung nicht möglich,
- hohe Maßgenauigkeit erforderlich – CNC-Bearbeitung erforderlich.

Detailierungspunkte, welche bei der Bearbeitung der Konzepte für die Realisierung noch zu betrachten sind

- Bei dieser Variante stellen sich die gleichen Fragen, wie bei der Variante des Kapitels 3.5.1,
- Erarbeitung einer Detaillösung für das Betongelenk.

3.5.6 Variante ÜB 6 – Variante ÜB 1, 2, 3 und 5 mit Ortbetonerfüllung ohne Kappe

Beschreibung

Die in Bild 3-62, Bild 3-63 und Bild 3-64 dargestellten Überbauvarianten sind nur aufgrund der im Kapitel 3.6.4 aufgeführten Variante mit integriertem Gesims möglich.

Bei dieser Variante wird auf die Spannbetonvarianten des Hohlkastens und Plattenbalkens (siehe Kapitel 3.5.1 und 3.5.2), auf die Variante des Stahlverbundquerschnittes (siehe Kapitel 3.5.3) und die Variante der Spannbetonplattenelemente (siehe Kapitel 3.5.5) zurückgegriffen. Die Fertigteile werden als Halbfertigteile mit seitlich integriertem Gesims hergestellt.

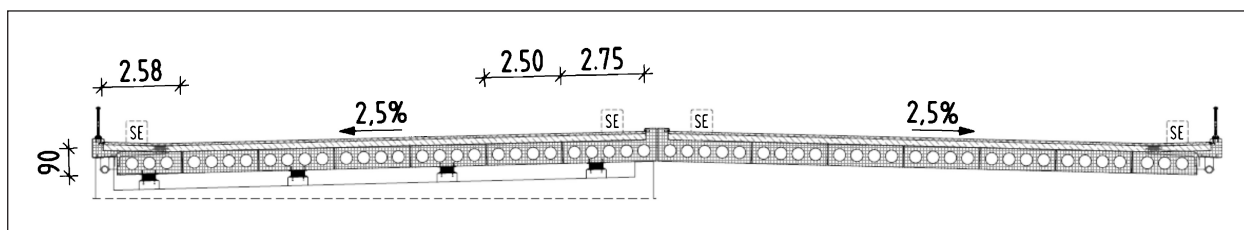


Bild 3-62: Spannbetonträger Trägerschar, mit Ortbetonerfüllung und integriertem Gesims

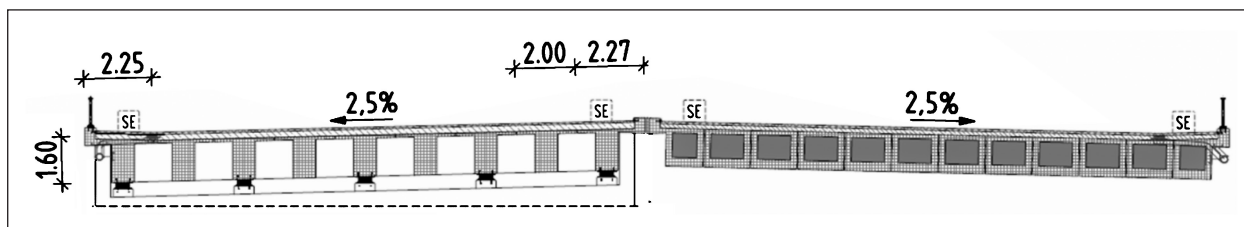


Bild 3-63: Spannbetonplattenelemente, mit Ortbetonerfüllung und integriertem Gesims

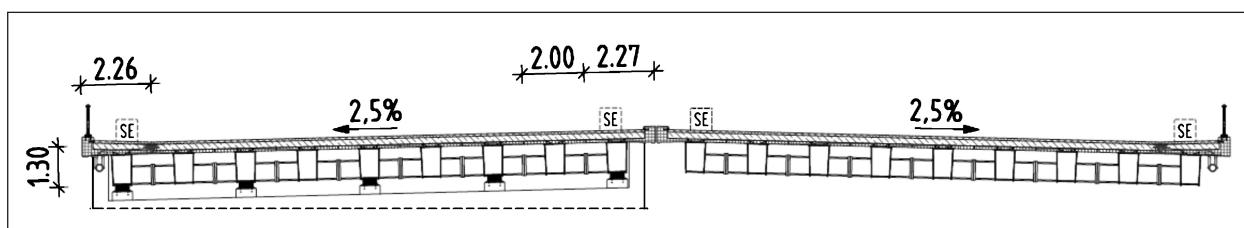


Bild 3-64: Stahlverbundträger Trägerschar, mit Ortbetonerfüllung und integriertem Gesims

gestellt. Das bedeutet, dass nachträglich keine Kappe mehr aufgesetzt werden muss. Vor Ort ist bei diesen Varianten noch eine Ortbetoneergänzung vorzunehmen. Der Zeitvorteil bei der Herstellung dieser Variante wird letztlich allein durch die Randausbildung in der Bauform Gesimsaufkantung mit vorgestellter Betonschutzwand und durch die Versiegelung der jungen Betonfläche erzielt.

Herstellung eines vollständigen Einzelträgers

Die Herstellung der Träger entspricht grundsätzlich dem der Vollfertigteilver variante, jedoch kann auf die Hüllrohre in Querrichtung und auf die Endquerträgerstummel verzichtet werden, weil diese Aufgaben die Ortbetoneergänzung übernimmt. Es gibt auch hier grundsätzlich drei Trägerarten. Zwei Randträger mit integriertem Gesims und gleich ausgebildete Mittelträger. Die Gesimsaufkantung wird dabei bei den Randträgern im Fertigteilwerk mit hergestellt.

Montage der Träger

Nach der Werksfertigung werden die Träger auf die Baustelle gebracht und mittels Auto- oder Raupen- kran vom Tieflader direkt in Einbaulage gehoben. Je nach Art der Überbaukonstruktion werden vor der Auflagerbank noch temporäre Auflagerträger angeordnet, um diese ausrichten zu können. Die Träger müssen passgenau verlegt und positioniert werden.

Bildung des Überbaus

Der Überbau wird durch die Ortbetoneergänzung vervollständigt und hinsichtlich der Tragwirkung gebildet. Dazu ist die obere Lage der Überbau- und Endquer- oder Zwischenquerträgerbewehrung einzubauen und die Ergänzungsschicht zu betonieren. Eine Quervorspannung wird bei dieser Variante nicht benötigt.

Lagerung

Die Lagerung der Überbauten ist identisch mit denen der Ausgangsvarianten.

Herstellung der Durchlaufwirkung bei Mehrfeldbauwerken

Dadurch, dass bei dieser Variante auf der Baustelle eine Ortbetoneergänzung vorgenommen werden

muss, können ohne weiteres klassische Durchlauf- und Rahmenbauwerke hergestellt werden. Vor Ort müssen nur die entsprechenden Ergänzungsarbeiten im Bereich der Rahmenecken und in den Zwischenauflagerbereichen vorgenommen werden.

Entwässerung, Abdichtung, Kappe und Fahrbahn

Das Vorgehen zum Herstellen der Entwässerung, Abdichtung sowie der Fahrbahn ist identisch mit dem der Variante 3.5.1 und kann dort unter „Entwässerung, Abdichtung, Kappe und Fahrbahn“ nachgelesen werden.

Was bei dieser Variante dazukommt, ist, dass die junge Betonfläche – Betonalter ≥ 7 Tage – nach dem Betonieren gemäß ZTV-ING Teil 7, Kapitel 1, 5.1 [14] versiegelt werden muss.

Vergleichbare Bauweisen außerhalb Deutschlands

keine

Vorteile

- Tragfähiger vergleichsweise leichter Fertigteilquerschnitt, „100t-Liefergrenze“¹ kann gehalten werden,
- keine nach oben durchgehende Längs- bzw. Querrufe vorhanden,
- Gesims ist direkt integriert, dadurch erhebliche Zeiteinsparung,
- durch Ortbetoneergänzung können Unebenheiten ausgeglichen werden,
- weniger Abweichungen vom Regelwerk,
- erforderliche Maßgenauigkeit vergleichsweise geringer, keine CNC Bearbeitung erforderlich,
- Durchlaufträger und Rahmenbauwerke können konventionell hergestellt werden.

¹ Die 100t-Liefergrenze beschreibt, dass die meisten Fertigteilwerke in Deutschland so ausgerüstet sind, dass sie nur Lasten bis 100 t heben können

Nachteile

- Ortbetonergänzung erforderlich, dadurch längerer Bauzeit in Endlage,
- Versiegelung der jungen Betonoberfläche notwendig, um den Zeitzustand der Ortbetonergänzung verringern zu können,
- witterungsabhängigere Bauweise,
- die Gesimsaufkantung erfordert besonderen Bewehrungsstahl (chromhaltigen Stahl), um die Dauerhaftigkeit sicherzustellen.

Detailierungspunkte, welche bei der Bearbeitung der Konzepte für die Realisierung noch zu betrachten sind

- Bei dieser Variante stellen sich die gleichen Fragen, wie bei der Variante des Kapitels 3.5.1.

3.6 Kappen

3.6.1 Variante K 1 – aufgesetzte Kappe mit Verankerung im Gesimsbereich

Beschreibung

Mit dieser Kappenlösung wird die Kappe als Fertigteilkappe ausgeführt. Dabei werden die Kappen-

fertigteile auf eine Länge von 6 m begrenzt. Die Kappenfertigteile werden vor Ort auf den Überbau aufgesetzt und durch an der Unterseite befindliche Stellschrauben in der Höhe ausgerichtet. Um die Fugen der Fertigteilkappen zu schließen, werden die Kappenfertigteile zentrisch vorgespannt. Zwischen den Fertigteilkappen sind entsprechende Dichtungsgummis vorhanden, die mit der Vorspannung der Kappen zusammengedrückt werden und die Dichtigkeit der Fuge garantieren. Die Verbindung zum Überbau erfolgt durch einen Verbundanker, der gesimsseitig in die Kragplatte des Überbaus eingebracht wird. Um die abhenden Kräfte der Schutzeinrichtung aufnehmen zu können, wird die Ausführung eines Tellerankers oder einer ähnlichen Verankerungskonstruktion notwendig. In den Kappenfertigteilen sind entsprechende Öffnungen vorgesehen, wo dieser dann eingebaut und vergossen werden kann. Zum Abschluss wird die Kappe noch untergossen, um eine flächige Auflage sicherzustellen. Dieses Verfahren wurde von der DiZWO GmbH [16] entwickelt.

Vorteile

- Kappenherstellung wurde ins Fertigteilwerk verlagert,
- geringes Transportgewicht der Fertigteile.

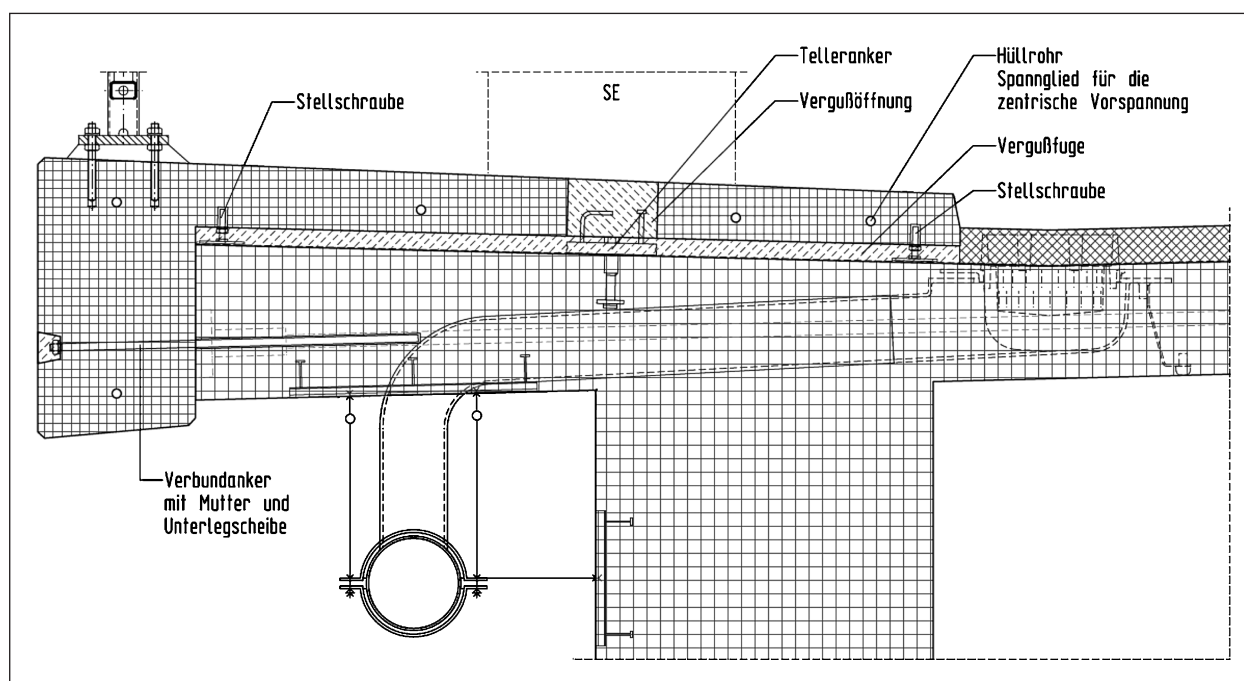


Bild 3-65: Fertigteilvariante, aufgesetzte Kappe mit Verankerung im Gesimsbereich [16]

Nachteile

- Vergleichsweise aufwendige Montage durch die Verankerung im Gesimsbereich,
- dadurch kann diese Variante bei geteilten nebeneinander befindlichen Überbauten nur in Hochlage des Überbaus montiert werden,
- höhenmäßige Ausrichtung der Kappe schwierig,
- Vergussfuge unter der Kappe,
- Telleranker zur Verankerung mit dem Überbau notwendig,
- nachträglicher Verguss im Bereich dieses Ankers erforderlich,
- Verspannen der Kappen aufwendig,
- Errichtung einer Lärmschutzwand im Gesimsbereich statisch nur für begrenzte Wandhöhen möglich, die Verbundmittel stellen dabei das begrenzen Kriterium dar,
- dauerhafte Dichtigkeit im Bereich der Querfugen der Kappenfertigteile muss erprobt werden,
- Bemessung auf Anprall an Schutzeinrichtung und der Fuge zwischen den Fertigteilen.

3.6.2 Variante K 2 – aufgesetzte Kappe mit Stahlanschlag

Beschreibung

Diese Variante ist nahezu identisch mit der Variante 1. Beide Varianten unterscheiden sich nur in dem Punkt, wie die horizontalen Kräfte in den Überbau eingeleitet werden. Der gesimsseitige Verbundanker der ersten Variante wird bei dieser Variante durch einen Stahl/Stahl-Kontaktstoß ersetzt. Dafür wird in der Kragplatte des Überbaus ein vertikal ausgerichtetes, feuerverzinktes Stahlblech mit einbetoniert. Die Kappenfertigteile haben ein entsprechend horizontales Gegenstück. Nach der Montage der Kappe bilden diese beiden Bleche den Kontaktstoß.

Vorteile

- Kappenherstellung wurde ins Fertigteilwerk verlagert,
- geringes Transportgewicht der Fertigteile,
- Entfall der gesimsseitigen Verankerung.

Nachteile

- Hohe Anforderung hinsichtlich der Maßhaltigkeit im Kontaktstoßbereich,
- schwierige Montage,

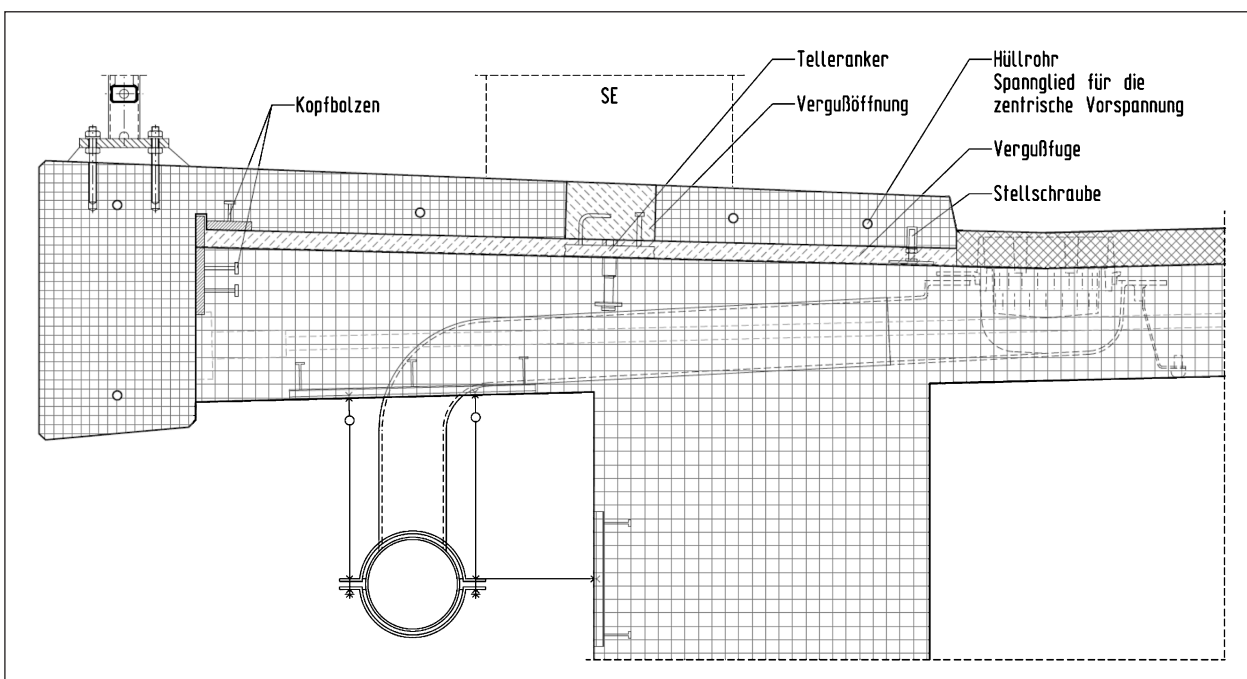


Bild 3-66: Fertigteilvariante, aufgesetzte Kappe mit Stahlanschlag

- höhenmäßige Ausrichtung der Kappe schwierig,
- Vergussfuge unter der Kappe,
- Telleranker zur Verankerung mit dem Überbau notwendig,
- nachträglicher Verguss im Bereich dieses Ankers erforderlich,
- Errichtung einer Lärmschutzwand im Gesimsbereich statisch nur für begrenzte Wandhöhen möglich. Die Verbundmittel stellen dabei das begrenzende Kriterium dar,
- dauerhafte Dichtigkeit im Bereich der Querfugen der Kappenfertigteile muss erprobt werden,
- Verspannen der Kappen aufwendig,
- Bemessung auf Anprall an Schutzeinrichtung und der Fuge zwischen den Fertigteilen.

3.6.3 Variante K 3 – Gesimsaufkantung mit vorgelegter Kappenplatte

Beschreibung

Mit dieser Variante wird die Kappe zweigeteilt hergestellt. Der Überbau bekommt eine entsprechende Gesimsaufkantung, auf der dann ein Geländer oder eine Lärmschutzwand errichtet werden kann. Auf

der Innenseite der Gesimsaufkantung wird eine Stahlbetonkappenplatte vorgelegt. Diese wird über integrierte Stellschrauben höhenmäßig ausgerichtet. Die einzelnen Kappenplatten haben eine Länge von maximal 6 m und werden nach dem Verlegen zentrisch verspannt. Im Fugenbereich werden entsprechende Dichtgummis angeordnet. Auch bei dieser Variante muss die Kappenplatte über einen Telleranker mit dem Überbau verbunden werden, um die abheben Kräfte aufnehmen zu können. Die horizontalen Kräfte werden durch einen Kontaktstoß der Kappenplatte mit der Gesimsaufkantung in den Überbau eingeleitet. Die horizontale Fuge entlang dieses Kontaktstoßes erhält einen Bitumenverguss. Da in diesem Fall nicht mehr vorgesehen ist, dass die Gesimsaufkantung in einem bestimmten Intervall saniert oder getauscht werden soll, wird chromhaltiger Bewehrungsstahl der Werkstoffnummer 1.4003 verwendet, welcher der Korrosionswiderstandsklasse I nach DIN EN 1993-1-4:2015-10, Tabelle A.3 zugeordnet werden kann. Dieser hat einen deutlich höheren Widerstand gegenüber herkömmlichen Bewehrungsstählen [17].

Eine ähnliche Kappenlösung enthält schon die Richtzeichnung von Hessen Mobil He-Lsw 07 [18].

Vorteile

- Kappenherstellung wurde ins Fertigteilwerk verlagert,

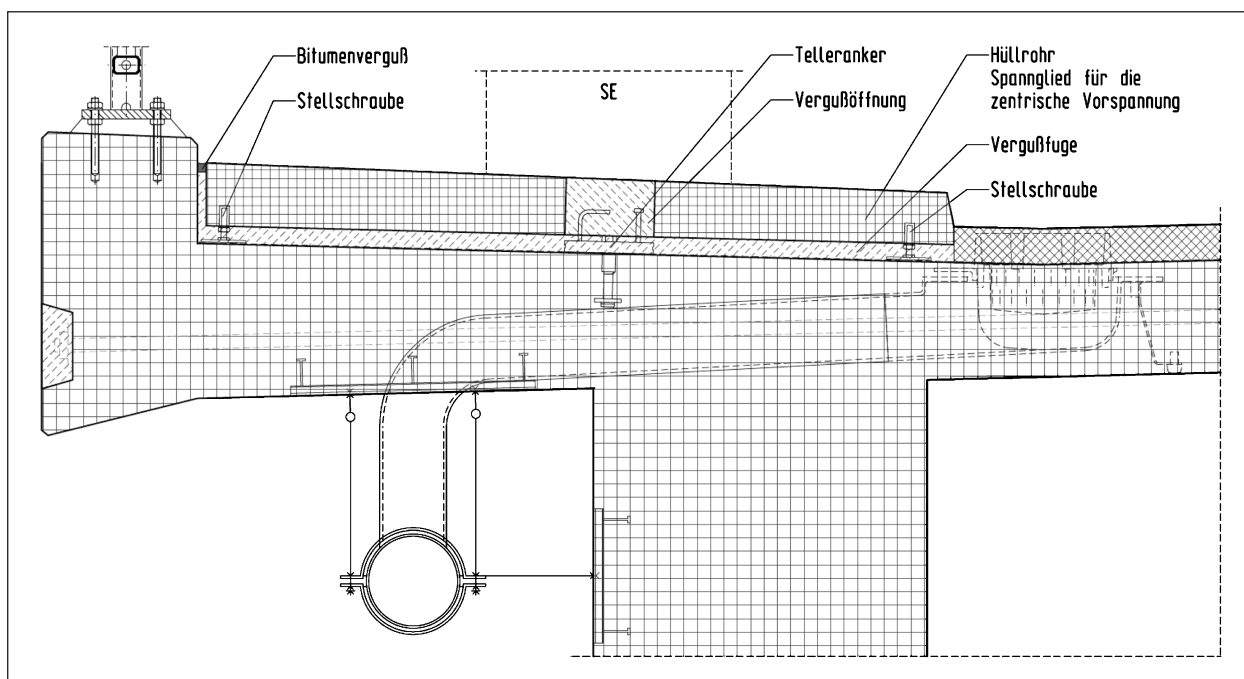


Bild 3-67: Gesimsaufkantung mit vorgelegter Kappenplatte

- geringes Transportgewicht der Fertigteile,
- vergleichsweise einfachere Montage gegenüber den ersten beiden Varianten,
- Lärmschutzwand/-Ankergerüst kann in das Gesims integriert werden.

Nachteile

- Höhenmäßige Ausrichtung der Kappenplatte schwierig,
- Vergussfuge unter der Kappe,
- Telleranker zur Verankerung mit dem Überbau notwendig Nachträglicher Verguss im Bereich dieses Ankers erforderlich,
- dauerhafte Dichtigkeit im Bereich der Längs- und Querfugen der Kappenfertigteile muss erprobt werden,
- Gesimsaufkantung direkt mit dem Bauwerk verbunden,
- Verspannen der Kappen aufwendig,
- Bemessung auf Anprall an Schutzeinrichtung und der Fuge zwischen den Fertigteilen.

3.6.4 Variante K 4 – Gesimsaufkantung mit vorgestellter Betonschutzwand (BSW)

Beschreibung

Bei dieser Lösung wird die Kappe auf eine Gesimsaufkantung reduziert und in den Überbauquerschnitt integriert. Die Abdichtung des Überbaus wird dabei bis an die Gesimsaufkantung heran und an dieser hochgeführt, sowie entsprechend verwahrt. Der Belag wird ebenfalls bis zur Aufkantung herausgeführt. Die Schutzeinrichtung wird durch eine, auf die Deckschicht gestellte BSW ausgeführt. Die Betonschutzwand selber wird nicht mit dem Überbau verbunden, sondern nur vor bzw. hinter dem Überbau an das Streckensystem angeschlossen. Da in diesem Fall nicht mehr vorgesehen ist, dass die Gesimsaufkantung in einem bestimmten Intervall saniert oder getauscht werden soll, wird chromhaltiger Bewehrungsstahl der Werkstoffnummer 1.4003 verwendet, welcher der Korrosionswiderstandsklasse I nach DIN EN 1993-1-4:2015-10, Tabelle A.3 zugeordnet werden kann. Da die Aufkantung in den Randträger integriert ist, braucht sie nicht gesondert hergestellt und auf der Baustelle montiert werden. Die Fertigung erfolgt zusammen mit den jeweiligen Randträgern. Dadurch können erhebliche Zeitvorteile erreicht werden.

Eine von der Geometrie ähnliche Gesimsaufkantung enthält schon die Richtzeichnung von Hessen Mobil He-Lsw 07 [18] und die Technischen Merk-

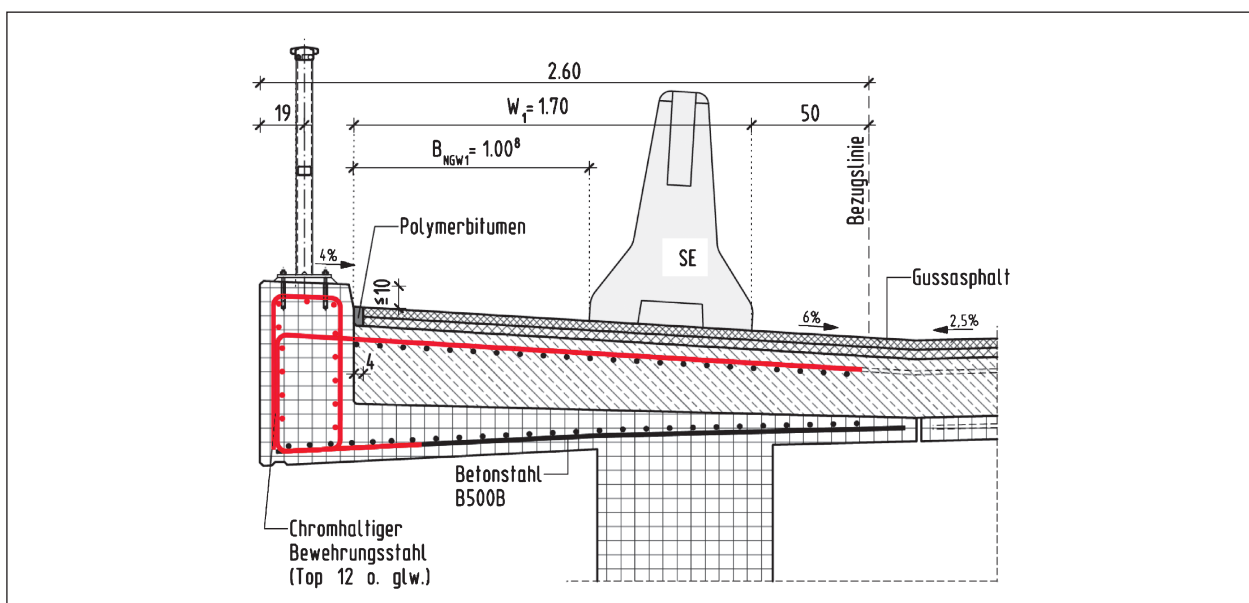


Bild 3-68: Gesimsaufkantung mit Belaganschluss in Anlehnung an FHB K [19] und vorgestellter Betonschutzwand

blätter des Schweizer Bundesamtes für Straßen [19].

Der Einsatz der Betonschutzwand fordert Systeme, die den erforderlichen Aufhaltestufen H2 bzw. H4b gerecht werden. Im vorliegenden Fall wird von der höchsten Aufhaltstufe H4b ausgegangen. Für den angedachten Zweck sind mehrere Systeme am Markt für die Strecke verfügbar. Beispielsweise das System Deltablock DB 120S [20]. Die Anwendung beschränkt sich auf den äußeren und mittleren Fahrbahnrand. Für Brückenbauwerke wurde dieses System noch nicht geprüft, da dieser Anwendungsfall bisher noch nicht existierte. Dafür stehen andere, mit dem Bauwerk verankerte Systeme, zur Verfügung. Genau diese Verankerung soll nicht mehr ausgeführt werden, weil die Kappe durch das Gesims ersetzt wird und dadurch als Verankerungsgrund nicht mehr zur Verfügung steht. Gegenüber den herkömmlichen Schutzeinrichtungen für Brückenkappen haben die BSW nicht die Wirkungsbereichsklasse W4 (1,30 m) sondern sind in die Klasse W5 (1,70 m) eingestuft.

Dies bedeutet, dass die zur Verfügung stehende Breite überprüft werden muss. Nach ZTV-ING 8-4, 3.3 (6) [14] beträgt die Mindestbreite des Notweges hinter der SE auf den Außenkappen 75 cm und auf den Mittelkappen 50 cm. Der Abstand von der Bezugslinie des Verkehrsraumes bis zum Brückenrand muss von 2,05 m auf 2,60 m vergrößert werden.

Der lichte Abstand zwischen den getrennten Überbauten im Bereich der Mittelkappe wird auf unter 10 cm begrenzt. Dies hat den Vorteil, dass der maximal zur Verfügung stehende Wirkungsbereich vergrößert wird. Es wird der ideale Fall entsprechend Bild 16 c gemäß RPS [21] für den Mittelbereich erreicht. Der Wirkungsbereich erstreckt sich hierbei bis auf das nebenliegende Teilbauwerk. Um im Falle eines Fahrzeuganpralls ein hindernisfreies seitliche Auslenken der Betonschutzwand im Mittelbereich bis auf den Überbau des nebenliegenden Teilbauwerkes zu ermöglichen, wird die Gesimsaufkantung im Bereich der Mittelkappe bis auf die Oberkante der Fahrbahn begrenzt. Die Verfüllung der Längsfuge zwischen der Gesimsaufkantung und der Fahrbahn wird mit Polymerbitumen ausgeführt, um einen dauerhaften dichten Abschluss zu erhalten (vgl. Bild 3-68). Eine ähnliche Randausbildung ist in den Technischen Merkblättern des Schweizer Bundesamtes für Strassen [19] enthalten.

Um zu verhindern, dass die Betonschutzwand durch etwaige Schwingungen des Brückenüberbaus in ihre Position verändern wird, muss nach ZTV-ING 8-4 [14] eine Lagesicherung der BSW erfolgen. Dies kann, je nach SE z. B. durch den Einbau von Rundstählen in den Fahrbahnbelag erfolgen. Die Sicherungselemente werden vor der Schutzeinrichtung eingebracht und abgedichtet. Diese reichen maximal bis zur Schutzschicht. Die Überbauabdichtung wird dabei nicht durchdrungen.

Bei der Anordnung von Schutzeinrichtungen auf Brücken gibt es zwischen der hier vorgesehenen und der derzeit in Deutschland praktizierten Systematik zwei wesentliche Unterschiede:

- Die Schutzeinrichtungen auf Brücken werden auf einer Versuchsanlage geprüft, die der vorherrschenden Brückenrandausbildung (Kappe mit Kragarm und Kraftmessung) entspricht. Schutzeinrichtungen für die Strecke werden auf oder neben der Fahrbahn ohne Kraftmessung getestet. Es gibt derzeit keine Brückensysteme, die ohne Kappe bzw. auf der Asphaltfahrbahn stehend getestet wurden.
- Deswegen ist die normative Vorgehensweise bei der Bemessung sowie die Einstufung in die Systematik der DIN EN 1991-2 eng verknüpft mit der durch die stirnseitig an den Überbau angeschlossenen Kappe.

Das bedeutet im vorliegenden Fall eine Abweichung zur standardmäßigen Vorgehensweise. Die Änderung der Randausbildung durch Entfall der Kappe und Vergrößerung der Breite schafft hinsichtlich der Platzverhältnisse eine vergleichbare Situation wie auf der Strecke. Dadurch kann vermutet werden, dass eine als Streckensystem geprüfte und zertifizierte Betonschutzwand auf dem Brückenbauwerk die gleiche Wirkungsweise entfalten kann. Lastfluss und Tragverhalten für diesen Fall unterscheiden sich jedoch deutlich von den standardisierten Randkonstruktionen mit Betonkappe. Hinsichtlich der Bemessung wären für den außergewöhnlichen Lastfall „Anprall an Schutzeinrichtung“ deshalb gesonderte Überlegungen anzustellen.

Während des Anpralls eines schweren Fahrzeuges an eine Schutzeinrichtung lassen sich zwei Wege der Lasteinleitung unterscheiden. Die Schutzeinrichtung wird beansprucht und überträgt entsprechend ihrem Tragverhalten horizontale Reaktionskräfte über Reibung in den Fahrbahnbelag. Ein

- lediglich am Anfang und Ende der Betonschutzwand (vor und hinter dem Bauwerk) wird ein kleineres Fundament benötigt,
- Betonschutzwand kann innerhalb weniger Stunden getauscht werden, da keine Verbindung zum Bauwerk erforderlich ist,
- dadurch verursachen Unfälle mit Nutzung der Schutzeinrichtung keine Folgeschäden am Brückenbauwerk,
- seitliche Barrierewirkung für den Winterdienst,
- seitliche Fahrstreifenverengung durch Verschiebung der Betonschutzwand im Baustellenbereich möglich.

Nachteile

- Detaillösung im Stützenbereich bei Mehrfeldbauwerken erforderlich,
- Wasserführung entlang des Überbauknickes muss getestet werden.

3.6.5 Variante K 5 – Gesimsaufkantung mit aufgesetzter Schutzeinrichtung

Beschreibung

Bei dieser Lösung wird die Kappe wie bei der vorangegangenen Lösung auf eine Gesimsaufkantung reduziert und in den Überbauquerschnitt integriert. Auch alle weiteren technischen Merkmale entsprechen der vorangegangenen Lösung. Die Lösungen unterscheiden sich jedoch hinsichtlich der Anordnung der Schutzeinrichtung. Bei dieser Variante wird die Schutzeinrichtung direkt auf die Gesimsaufkantung aufgebracht. Die Bauteilgröße ist so ausgelegt, dass direkt an die Bezugslinie des Verkehrsraumes der Notgehweg anschließt und bis zur Innenseite der Schutzeinrichtung führt. Die abschirmende Wirkung der Schutzeinrichtung für den Gehweg ist bei dieser Variante nicht gegeben. Die Gesimsbreite wird entsprechend der erforderlichen Breite zum Befestigen der Schutzeinrichtung ausgelegt. Es gibt dazu die Möglichkeit, die Schutzeinrichtung mit Verbundanker auf der Aufkantung zu befestigen oder den Pfosten in diese einzubetonieren. In beiden Fällen ist der Kragarmanschnitt derart zu bemessen, dass dieser keine Schäden durch einen Fahrzeuganprall davonträgt. In der Schweizer Norm SIA 261 wird gefordert, dass der Kragarm

für den 1,4-fachen plastischen Biege Widerstand des Stahlpfostens der Schutzeinrichtung auszulegen ist. Dies verhindert das Versagen des Brückenüberbaus im Falle eines Anpralles in die Schutzeinrichtung. Gleichzeitig muss aber davon ausgegangen werden, dass es bei starken Fahrzeugeinschlägen zu konstruktiven Beschädigungen im Gesimsbereich kommen kann. Durch die Anordnung der Schutzeinrichtung auf der Gesimsaufkantung können sich Teilbereiche des Fahrzeugs beim Anprall außerhalb des Brückenrandes befinden. Damit reicht der Wirkungsbereich der Schutzeinrichtung in den gemäß RPS [21] definierten Gefahrenbereich hinein.

Vorteile

- Schmalste Möglichkeit der Gesimslösungen,
- Kappe als Verschleißteil ist nicht mehr vorhanden,
- Reduktion des Fertigteilegewichtes (Längsträger),
- Verringerung der Anzahl auf der Baustelle zu montierenden Baugruppen → Zeitersparnis und Reduzierung der Fehlerquellen,
- Lärmschutzwand/-Ankergerüst kann in das Gesims integriert werden.

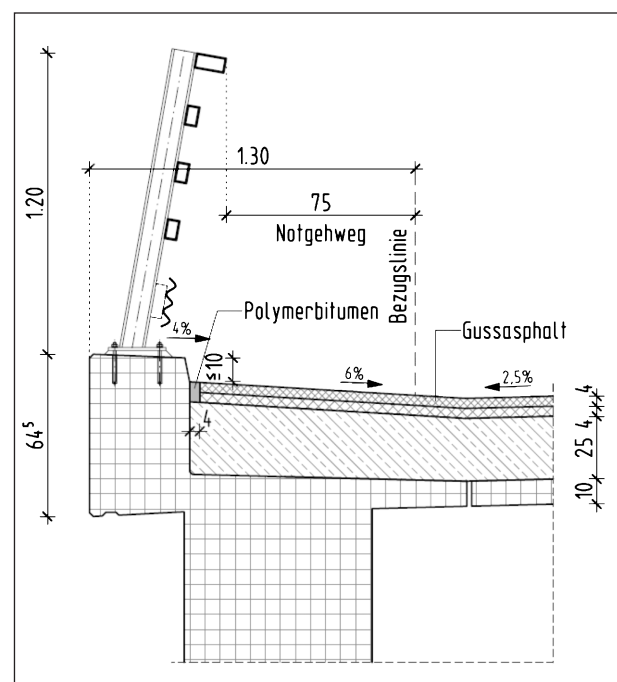


Bild 3-70: Detail Randkappe

Nachteile

- Detaillösung im Stützenbereich bei Mehrfeldbauwerken erforderlich,
- Wasserführung entlang des Überbauknickes muss getestet werden,
- Notgehweg ist nicht mehr durch die Schutzeinrichtung abgeschirmt,
- Fahrzeuganpralle können zu konstruktiven Beschädigungen an der Gesimsaufkantung führen,
- dadurch zusätzlicher Instandhaltungsaufwand,
- Wirkungsbereich der Schutzeinrichtung reicht bis in die Gefahrenstellen nach RPS [21].

4 Darstellung von innovativen Bauverfahren

4.1 Allgemeines

Zum Bewegen von im Werk oder seitlich vorgefertigten Baugruppen oder gar ganzen Bauwerken stehen drei verschiedenen Obergruppen von Bauverfahren zur Verfügung. Das sind das Verschiebverfahren, das Einfahren und das Einheben von Bauteilen. Jede Verfahrensgruppe hat noch eine Vielzahl von Untergruppen. In der Machbarkeitsstudie [4] wurde schon auf verschiedene Verschiebverfahren und Hebetchnologien eingegangen. Nachfolgend werden nur die für die Referenzbauwerke relevanten Verfahren betrachtet. Eine Wiederholung aller möglichen Verfahren findet hier nicht statt, sondern es wird nur auf die Geeignetsen eingegangen. Einen vollständigeren Überblick über alle Verfahren erhält man in der Machbarkeitsstudie [4]. Weiterhin ist zu beachten, dass dies keine neuen Verfahren sind, weil diese schon seit Jahren bei Baumaßnahmen der Deutschen Bahn angewendet werden. Vielmehr ist die Anwendung dieser Verfahren bei der Errichtung von Straßenbrücken innovativ. Nicht betrachtet werden Verfahren, welche für größere Talbrücken zum Einsatz kommen.

4.2 Verschiebverfahren

4.2.1 Allgemeines

Das Verschiebverfahren ist kein neues Verfahren, sondern wird seit Jahren bei der Deutschen Bahn angewendet. Der Grund dafür ist, dass gerade die Deutsche Bahn es sich nicht leisten kann. Ihr Streckennetz über Wochen oder Monate für die Erneuerung von Brücken zu sperren. Folglich wurde dieses Verfahren in das Richtlinienwerk mit aufgenommen. Im Anhang A03, Kapitel 3 der Richtlinie Ril 804.9040 [24] wurde ein guter allumfassender Überblick über die gebräuchlichen Verschiebsysteme gegeben, die Systematik und die Vor- und Nachteile dargestellt. Im Einzelnen werden in diesen Anhang acht Verfahren beschrieben. Nachfolgend wird auf das, für die Straßenbrücke geeignetste System, eingegangen und ein kurzer Überblick über die anderen Verfahren gegeben und dessen Auschlussgründe beschrieben.

4.2.2 Variante 1 – Fluidverfahren

Beschreibung

Mit dem Fluidsystem werden Bauwerke mittels auf Verschiebbahnen gleitenden Lastmodulen (siehe Bild 4-2) verschoben. Dabei schweben die Lastmodule auf einem durch Druckluft erzeugten Luftpolster und laufen auf Stahlgleitbahnen. Durch dieses Luftpolster wird der Gleitreibungswiderstand [$\mu = 0,01$ gemäß Richtlinie 804.9040 [24]] derart reduziert, dass der Verschiebevorgang mit minimalen horizontalen Kräften möglich ist. Die Verschiebkräfte werden je Verschiebbahn durch ein, an einem Lastmodul angebrachtem System mit hydraulischen Zylindern aufgebracht. Dabei stützen sich die Hydraulikzylinder an der Verschiebbahn ab, welche durch die vertikale Auflast des Bauwerkes gehalten ist. Das Bauwerk selber wird über in den Lastmodulen integrierten Hubzylindern angehoben, getragen und abgesetzt werden. Dabei ist die Tragfähigkeit je Lastmodul auf 250 t begrenzt. Die Hubzylinder können auch während des Verschiebvorganges höhenmäßig gesteuert werden, um etwaige Setzungen in der Verschiebbahn ausgleichen zu können. Die Lastmodule sind entsprechend hydraulisch gesteuert, sodass ein synchroner Verschieb des Gesamtbauwerkes gewährleistet wird. Um das Bauwerk verschieben zu können, müssen an diesem entsprechende Verschiebkanäle oder Verschiebkonsolen vorgesehen werden, über welchen das Bauwerk mittels der Lastmodule ausgehoben und getragen



Bild 4-1: EÜ km 32,541; Strecke 5230, Ausführung [45]



Bild 4-3: Einschub EÜ km 12,087, Strecke 5230 [46]

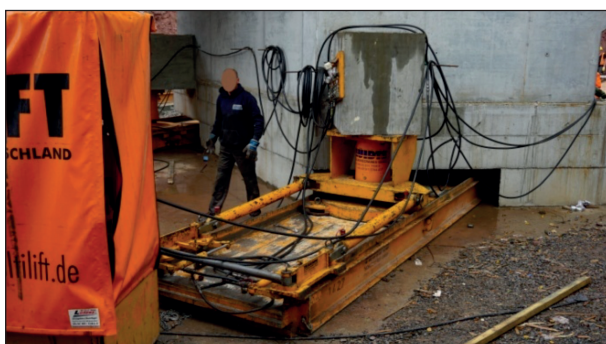


Bild 4-2: EÜ km 32,541; Strecke 5230, Ausführung [45]



Bild 4-4: Einschub EÜ km 12,925, Strecke 5230 [46]

werden kann. In Bild 4-1 und Bild 4-2 sind die Verschubkonsolen, die Verschubbahnen sowie die Lastmodule am Beispiel der Ausführung einer Eisenbahnbrücke gut zu erkennen.

Mit diesem Verfahren können Rahmenbauwerke aber auch einzelne Widerlager verschoben werden.

Beispielhaft sind im Bild 4-3 der Verschiebung einer Eisenbahnüberführung – Halbrahmen mit einer Stützweite von ca. 20 m – und im Bild 4-4 der Verschiebung eines Widerlagers einer Eisenbahnbrücke zu sehen.

Vorteile Fluidsystem

- Hebe- und Senkvorgänge mit Lastmodulen möglich, dadurch können Setzungen während des Vorganges ausgeglichen oder Höhenkorrekturen in Endlage vorgenommen werden,
- positionsgenau verschubverfahren,
- Verschiebungsgeschwindigkeit 1 – 5 m/min → sehr schnell,
- es werden lediglich Verschubkanäle oder Konsolen benötigt,
- es kann bei optimaler Anordnung von Verschubkonsolen auf einen Verguss der Fundamente verzichtet werden,

- ausgereiftes, fertiges System, was auf dem Markt über Fachfirmen verfügbar ist,
- je nach Baugrundsituation, können die Verschubbahnen direkt auf den anstehenden Baugrund verlegt werden,
- damit Entfall einer zusätzlichen Gründung.

4.2.3 Weitere Verfahren nach Ril 804.9040 A03, Kapitel 3 [24]

Neben dem Fluidverfahren gibt es noch weitere Verfahren, die zusammenfassend so charakterisiert werden können, dass die Bauwerke entweder auf Verschublechen, Verschubträgern oder Verschublager von der Seitenlage in die Endlage gezogen oder geschoben werden können.

Im Einzelnen sind das folgende Systeme [Nummerierung gemäß Ril 804 [24]]:

- System 2 – Verschublech (Edelstahlblech) und Zugstangen,
- System 3 – Verschubträger mit Zugstangen,
- System 4 – Verschubträger mit Verschubbock,
- System 5 und 6 – Verschublager auf Verschubträger,

- System 7 – Verschublager ohne Verschubträger.

Bei diesen Verfahren werden zusätzliche Verschubfundamente und seitliche Führungen benötigt um die Verschubposition beibehalten zu können. Diese müssen individuell für jedes Vorhaben hergestellt werden. Um das Absetzen des Bauwerkes durchzuführen, werden bei den Systemen 2 – 4 noch zusätzliche Pressen benötigt. Bei dem System 2 und 3 werden darüber hinaus noch Verschubwiderlager benötigt, gegen das sich die Verschubeinheit stützt.

Generell kann man zusammenfassend von kleinteiligen individuellen Systemen sprechen. Trotz allem werden die Verfahren der Verschubträger bei Bauvorhaben der Deutschen Bahn durch eine Vielzahl von Baufirmen angewendet. Ein Grund dafür ist, dass sich einige Firmen entsprechende Systeme gekauft haben und diese natürlich weiterhin anwenden wollen. Was aber auch festgestellt wird, ist, dass Firmen die einmal Bauwerke mit dem Fluidverfahren verschoben haben, oft bei folgenden Baumaßnahmen dem Verfahren treu bleiben, weil sie die Vorteile überzeugt haben.

Die Verfahren können alle für das Verschieben von Rahmenbauwerken verwendet werden. Das Verfahren des Verschubträgers mit Verschubbock wird häufig beim Verschieben von Überbauten angewendet.

Nachteile der weiteren Verfahren

- Grundsätzlich werden zusätzliche Verschubfundamente benötigt,
- Höhenkorrekturen während des Verschubes nur bei System 5 – 7 möglich,
- Höhenkorrekturen in Endlage erfordern bei System 2 – 4 zusätzliche Pressen,
- zusätzliche seitliche Führung erforderlich,
- bei einigen Systemen wird ein zusätzliches Verschublager erforderlich,
- Zugstangen können ein Ausschlussgrund bei der Errichtung nur eines Teilbauwerkes bedeuten,
- bei fast allen Varianten wird der Verguss der Fundamente erforderlich,

4.2.4 Anwendung für unsere Referenzbauwerke

Auch die Referenzbauwerke können seitlich vorgefertigt und eingeschoben werden. Aufgrund der Vielzahl von Vorteilen des Fluidsystems im Vergleich zu den anderen Systemen, wird für das Verschieben von Bauwerken das Fluidverfahren betrachtet. Gleichwohl wäre die Anwendung der anderen Systeme auch möglich.

Bei den Rahmenbauwerken – Referenzbauwerk 1 – sind am Widerlager entsprechende Verschubkonsolen oder unter dem Fundament entsprechende Verschubkanäle auszubilden. Am hier betrachteten Referenzbauwerk (Bild 4-6) wird beispielhaft mit Verschubkonsolen gearbeitet, welche an der Fundamentrückseite und am luftseitigen Sporn angebracht werden. Im Unterschied zu den im Regelfall eher schmalen Eisenbahnbrücken, sind bei den breiten Straßenbrücken mehrere Lastmodule je Verschubbahn anzuordnen, um die größeren Lasten aufnehmen und bewegen zu können.

Aber auch die Unterbauten der gelagerten Überbauten können nach dem gleichen Prinzip verschoben werden. Für das Verschieben der Widerlager und Pfeiler werden ebenfalls Verschubkonsolen an den Außenseiten der Pressen angeordnet.

Dieses Verfahren ist in jeden Fall interessant, wenn an einem Bauwerk die Unterbauten getauscht werden müssen. Es besteht hierbei die Möglichkeit, die zu ersetzenden Bauteile seitlich vorzufertigen und in einer kürzeren Sperrpause den Bestandsüberbau bauzeitlich über Behelfsstützen aufzubocken, die Bestandsunterbauten rückzubauen und danach die seitlich vorgefertigten Bauteile in die Endlage einzuschieben. Die durch die Bautätigkeit verursachten Verkehrseinschränkungen können so auf ein Minimum reduziert werden.

Mit dem Verschubverfahren ist es aber auch möglich, seitlich vorgefertigte Überbauten in die Endlage zu verschieben. Dazu wird ein Verschubgerüst benötigt, auf dem ein Verschubträger montiert ist. Der Überbau wird dann mittels hydraulischen Pressen, welche sich am Verschubträger abstützen, in Endlage geschoben. Um den Gleitreibungswiderstand und damit auch die Verschubkräfte zu minimieren, wird auf dem Verschubträger eine Gleitbahn, beispielsweise aus PTFE-Platten, her-

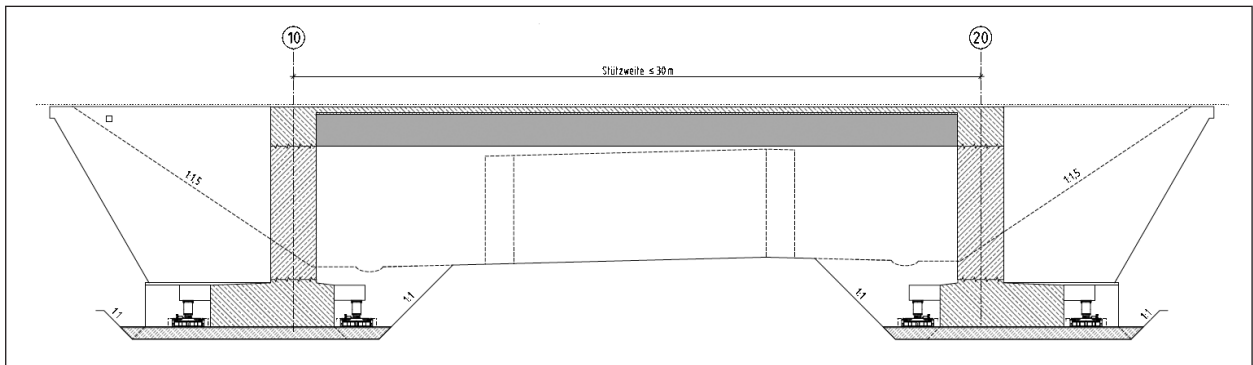
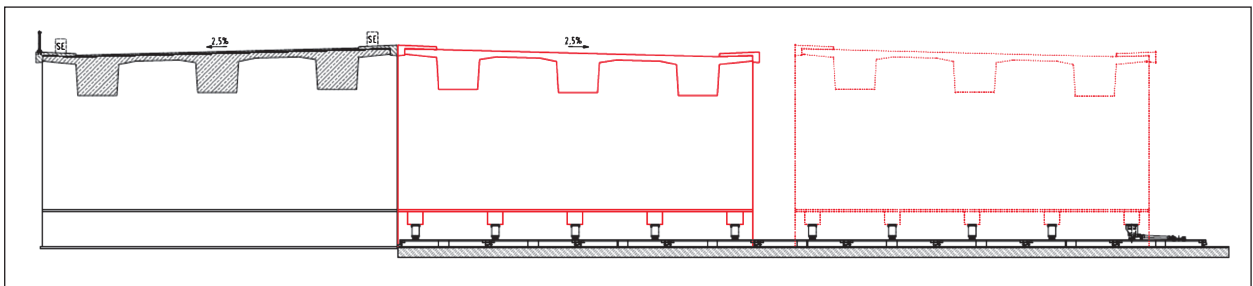
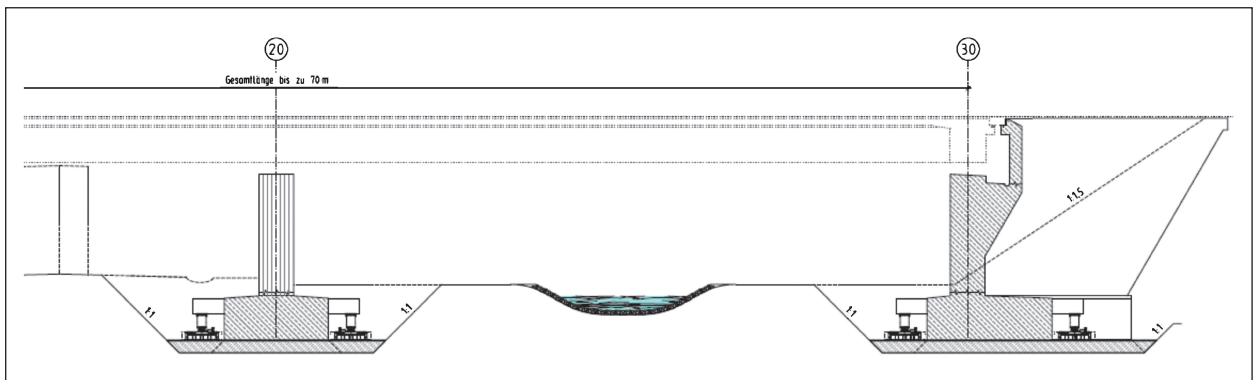
Bild 4-5: Verschub – Rahmenbauwerk Stützweite $< 30\text{ m}$, LängsschnittBild 4-6: Verschub – Rahmenbauwerk Stützweite $< 30\text{ m}$, Querschnitt

Bild 4-7: Verschub Widerlager / Pfeiler, Einfeld-/Mehrfeldbauwerke, Längsschnitt

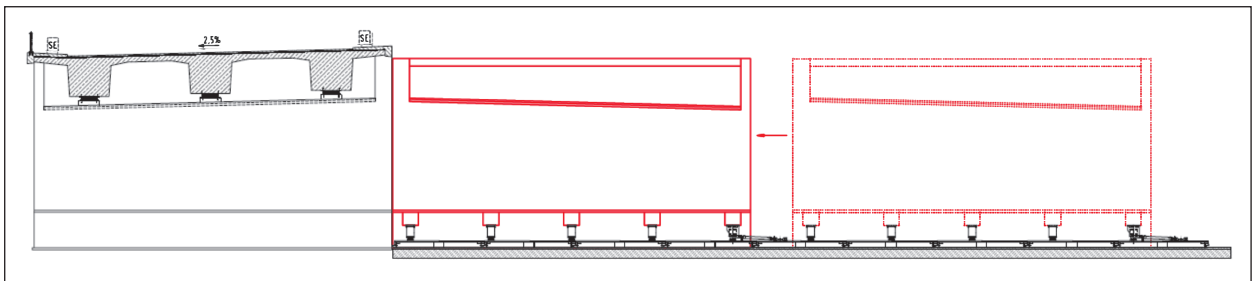


Bild 4-8: Verschub Widerlager/ Stützen, Einfeld-/Mehrfeldbauwerke, Querschnitt

gestellt. Das Verschubverfahren entspricht dem System 4 des Kapitels 4.2.3. Meist wird der Überbau in Hochlage verschoben und dann in Endlage über hydraulische Pressen passgenau abgesenkt.

Dabei ist es extrem wichtig, dass das Verschubgerüst setzungsarm gegründet wurde, da Korrekturmöglichkeiten der Höhe nach während des Verschubvorganges ausgeschlossen sind. Eine weitere Voraussetzung ist, dass die Verschubpressen

vor allem bei Durchlaufbauwerken synchronisiert sind, um ein Verkeilen oder Verkanten des Überbaus und das Einleiten von Zwangsschnittgrößen zu vermeiden [25].

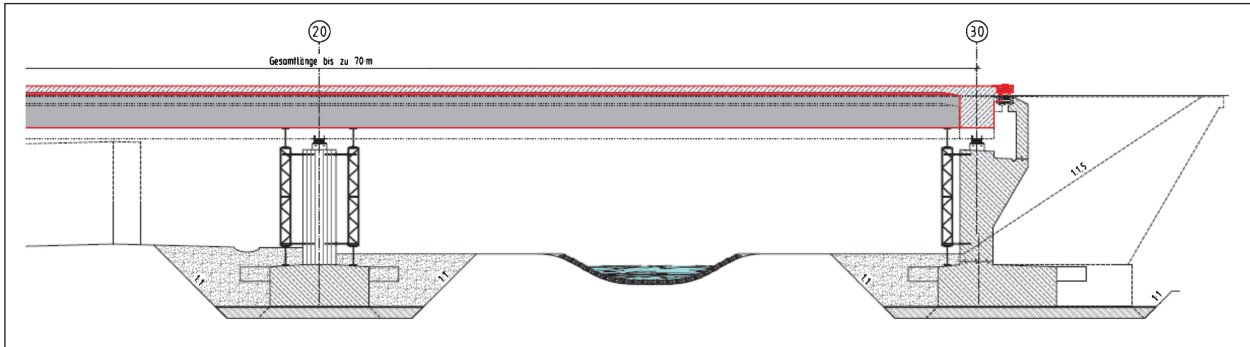


Bild 4-9: Verschub Überbau, Einfeld-/ Mehrfeldbauwerke, Längsschnitt

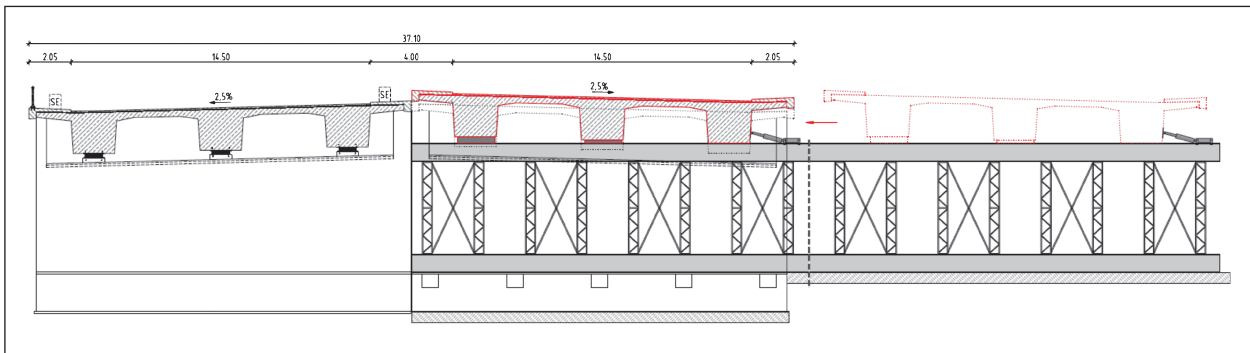


Bild 4-10: Verschub Überbau, Einfeld-/ Mehrfeldbauwerke, Querschnitt



Bild 4-11: EÜ Reichsbahnstr. in Hamburg Eidelstedt, Verschub eines WIB-DLT-Überbaus (600 t) [43]

4.2.5 Vorteile

- Extreme Reduzierung der Bauzeit in Endlage und damit Reduzierung der Verkehrssperrungen möglich,
- Errichtung der Bauwerke in konventioneller Bauweise möglich,
- dadurch Beibehaltung des technischen Standards,
- keine Abweichungen vom Regelwerk,
- Verfahren sind durch den jahrzehntelangen Einsatz bei der Deutschen Bahn erprobt und ausgereift,
- ausreichend leistungsfähige Unternehmen auf dem Markt verfügbar.

4.2.6 Nachteile

- Erheblicher zusätzlicher Flächenbedarf durch seitliche Fertigung erforderlich,
- gerade bei unterführten Verkehrswegen wird die Verkehrseinschränkung nach unten verlagert,
- in Naturschutzgebieten kann die seitliche Vorfertigung eine erhebliche negative Ökobilanz oder ein Ausschlussgrund bedeuten,
- in abgelegenen Gebieten kann die Baustellenzuwegung die Sperrung des rechten Fahrstreifens oder die Errichtung von langen Baustraßen erfordern,
- Baukostensteigerung durch zusätzlich benötigte Technik und Flächen zu erwarten,
- Herstellung einer verformungsarmen Absetzebene erforderlich, um größere Bauwerkssetzungen zu vermeiden.

4.3 Einfahren von Bauwerken

Neben dem Einschleppen von Bauwerken gibt es auch die Möglichkeit, seitlich vorgefertigte Bauwerke in die Endlage einzufahren. Dafür stehen sogenannte selbstfahrende Schwerlastmodule zur Verfügung. Die Schwerlastmodule können in der Breite und Länge untereinander frei gekoppelt werden, sodass verschiedenste Bauwerksgeometrien bewegt werden können. Häufig werden auf den Modulen

entsprechende Stahltragstrukturen aufgebaut, um das Bauwerk besser anheben und positionieren zu können. Durch den geringen Achsabstand und die vielfältigen Kopplungsmöglichkeiten der Module untereinander, kann ein breites Spektrum von Lasten der Größenordnung von 50 t – 10.000 t bewegt werden. Grundsätzlich ist es aber notwendig, dass die einzelnen Schwerlastmodule synchronisiert gesteuert werden, um das Verkanten und Verdrehen der zu bewegenden Bauteile zu vermeiden.

Wie die Beispiele in Bild 4-12 bis Bild 4-15 zeigen, werden damit häufig seitlich zusammengesetzte oder hergestellte Überbauten in Endlage bewegt. Aber auch das Einfahren von Halbrahmen ist mit diesem Verfahren denkbar.

Dieses Bauverfahren kann natürlich bei der Errichtung der Referenzbauwerke unterstützend mit angewendet werden. Als Voraussetzung müssen entsprechend ebene und tragfähige Bewegungsflächen für die Schwerlastmodule vorhanden sein.

Grundsätzlich vorteilhaft ist bei dieser Variante einzuschätzen, dass die Schwerlastmodule nach nur kurzer Aufbauzeit einsatzfähig sind und nur geringe Vorarbeiten erfordern. Vor Ort müssen lediglich tragfähige und ebene Bewegungsflächen geschaffen



Bild 4-12: ESTW Lehndorf SÜ km 48,485, B93, 2018 [52]



Bild 4-13: ESTW Lehndorf SÜ km 48,485, B93, 2018 [52]



Bild 4-14: EÜ km 209,002 Görlitz, Einbauvorgang, 2008 [51]



Bild 4-15: KrBW Barmbek, 2017 [26]

werden. Dies wird durch überschütten und verdichten des anstehenden Geländes mit tragfähigen nichtbindigen Böden erreicht. Wenn die Brücke ein Gewässer überspannt, stößt man mit diesem Verfahren natürlich an seine Grenzen. Auch das Einfahren über sehr steile Rampen ist nur bedingt möglich.

4.3.1 Vorteile

- Extreme Reduzierung der Bauzeit in Endlage und damit Reduzierung der Verkehrssperrungen möglich,
- Errichtung der Bauwerke in konventioneller Bauweise möglich,
- dadurch Beibehaltung des technischen Standards,
- keine Abweichungen vom Regelwerk,
- Verfahren sind durch den jahrzentelangen Einsatz in der Bauindustrie, Industrie und Schwerlasttransporten erprobt und ausgereift,

- ausreichend leistungsfähige Unternehmen auf dem Markt verfügbar.

4.3.2 Nachteile

- Erheblicher zusätzlicher Flächenbedarf durch seitliche Fertigung erforderlich,
- gerade bei unterführten Verkehrswegen wird die Verkehrseinschränkung nach unten verlagert (Fertigung in Seitenlage).

4.4 Einheben von Bauwerken

Das Einheben von vorgefertigten Bauteilen oder gar kleineren Bauwerke gehört schon jetzt zu den standardmäßigen angewendeten Bauverfahren. Dabei werden beim Neubau von Straßenbrücken vorgefertigte Spannbeton- oder Verbundfertigteilträger oder kleinere Stahlbrücken eingehoben. Im Bereich der Deutschen Bahn werden auch seitlich vorgefertigte Stahlbetonbauwerke, meistens Halbrahmen, Vollrahmen sowie WiB-Brücken und kleinere Stahltröge eingehoben. Hinsichtlich der zu hebenden Lasten hat sich eine obere Grenze von 250 t Hubgewicht in der praktischen Anwendung ergeben.

In der Machbarkeitsstudie [4] wurde durch Eintragung verschiedener Krane in ein Traglastdiagramm ermittelt, dass Hubgewichte bis über 3.000 t durch moderne Raupenkräne bewältigt werden können. Bei der Umsetzung einer Vielzahl von Ersatzneubauten sollte aber bedacht werden, dass Krane, welche diese Lasten bewegen können, nicht in großer Anzahl auf dem Markt verfügbar sind. Weiterhin kommt dazu, dass die Krane mit der großen Hubkapazität entsprechend Platz und Zeit für den Aufbau benötigen. Dies sind alles Gründe, warum von einer grundsätzlichen Lösung des Einbaus von großen schweren Bauwerken mit der mobilen Hebetechologie Abstand genommen werden sollte, da gleichzeitig das Verschubfahren oder das Einfahren von Bauwerken mit selbstfahrenden Schwerlastmodulen die elegantere Lösung darstellt. Der Kraneinsatz bei schwereren Bauwerken ist immer dann ein Thema, wenn die Verschub- und Fahrwege, beispielsweise durch ein Gewässer, versperrt sind. Jedoch kann es hier auch wirtschaftlicher sein, das Bauwerk in kleinere, leichtere Baugruppen zu unterteilen und mit kleinerer Hebetchnik

einzuheben, um es in Endlage zusammensetzen zu können.

Grundsätzlich wird die Hebetechnologie mit mobilen Autokranen und Raupenkranen zum Heben und Bewegen von leichteren Fertigteilen mit Einzelgewichten bis 250 t benötigt, um auch die innovativen Bauweisen mit modularisierten Fertigteilen umzusetzen. Der dafür benötigte Platzbedarf und Zeitfenster zum Aufbauen des Krans ist jedoch vergleichsweise geringer. Das Einheben von Bauwerken sollte sich auf Bauwerke mit einer Stützweite kleiner 10 m beschränken, da die in diesem Fall zu bewältigenden Lasten vergleichsweise gering sind.

5 Vergleichende Gegenüberstellung des derzeitigen Vorgehens und der innovativen Ansätze

5.1 Darstellung des Grobbaublaufes einschließlich Bauzeitenvergleich

5.1.1 Allgemeines

Da der Projektschwerpunkt auf der Verringerung der Bauzeit und der Minimierung der Verkehrseinschränkung liegt, wird in diesem Kapitel der Grobbauplan zur Umsetzung der vier Referenzbauwerke bei Anwendung der verschiedenen aufgezeigten Bauweisen und Bauverfahren ermittelt so-

wie die sich aus dem Bauablauf ergebenden Verkehrseinschränkungen. Letztlich werden die Bauweisen noch hinsichtlich der Bauzeiten und Verkehrseinschränkungen verglichen und das diesbezüglich mögliche Reduzierungspotenzial ermittelt und bewertet.

5.1.2 Verkehrsführung während der Bauzeit

Um die Verkehrsader der Autobahn nicht vollständig zu sperren, wurden bei der Planung aller Varianten betrachtet, dass die Ersatzneubauten Richtungsfahrbahnbezogen erneuert werden sollen. Das heißt, dass das Bauwerk für jeden Fahrstreifen separat in Form eines Teilbauwerkes erneuert werden soll. Der Verkehr wird auf der jeweils daneben liegenden Richtungsfahrbahn gebündelt. Wie die Verkehrsführung im Baustellenbereich auszuführen ist, wird in der RSA Anhang D für Autobahnen [27] klar geregelt.

Für den, mit den Referenzbauwerken gewählten Straßenquerschnitt kann die Verkehrsführung 4+0 nach Regelplan D II / 7a und 7b gemäß Bild 5-1 bzw. D II / 2a und 2b oder gar 5+0 nach Regelplan D II / 8b [27] eingerichtet werden. Mit diesen Regelplänen können je Richtungsfahrbahn im Baustellenbereich zwei Fahrstreifen aufrecht erhalten werden. Um die Verkehrsführung einzurichten, sind im Vorfeld Mittelstreifenüberfahrten herzustellen. Auch die Geschwindigkeitsbegrenzung im Baustellenbereich ist in der RSA klar geregelt. Diese ist in der Regel

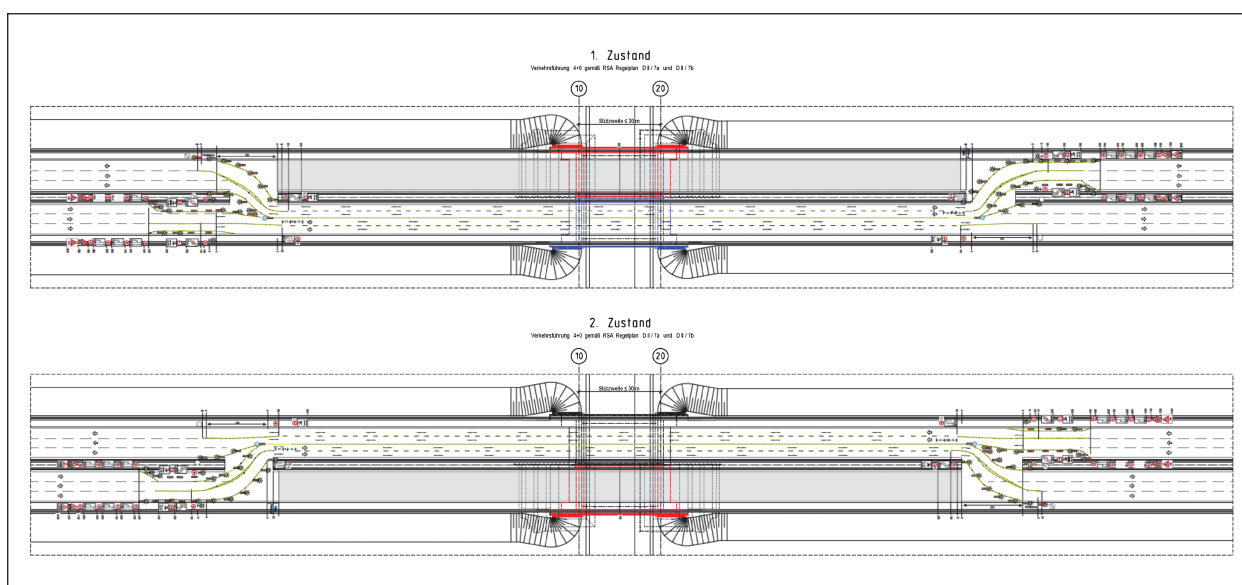


Bild 5-1: Verkehrsführung in den einzelnen Bauzuständen

auf 80 km/h begrenzt. Sollten bei den jeweiligen Baustellen nur schmale Lkw-Fahrstreifen der Breite kleiner 3,25 m eingerichtet werden können, so ist die Geschwindigkeit auf 60 km/h zu begrenzen. Sollten sehr breite Richtungsfahrbahnen zur Verfügung stehen, sodass ein linker Fahrstreifen mit einer Breite von 3,00 m und ein rechter Fahrstreifen mit einer Breite von 3,50 m je Richtungspur im Baustellenbereich ausgebildet werden können, so kann die Geschwindigkeit im Baustellenbereich auf 100 km/h angehoben werden. Die Grundsätze sind in der RSA Anhang D, Kapitel 2.4.2 geregelt.

5.1.3 Systematik und Vorgehen

In einem ersten Schritt werden für jede Bauweise und jedes zur Anwendung kommende Bauverfahren der Unterbauten, Überbauten und Kappen die einzelnen Arbeitsschritte in Form einer Datenbank ermittelt. Dabei wird die Bauzeit in der Einheit Wochen mit der Genauigkeit einer halben Woche berechnet. Danach werden die Bauzeiten den einzelnen Referenzbauwerken zugeordnet. Als Ergebnis ergibt sich die Gesamtbauzeit je Bauwerk in Endlage – die Zeit mit Verkehrseinschränkung – für jedes der einzelnen Bauweisen. Auch die Bauzeit der Referenzbauwerke unter Anwendung des konventionellen Vorgehens wird ermittelt. Dieses Ergebnis stellt dann den Vergleichspunkt dar, um die durch Anwendung der neuen Technologien ermittelte Bauzeitersparnis und damit die Minimierung der Verkehrseinschränkungen zu berechnen.

Letztlich werden noch die Zeiten der Vorfertigung sowie die Zeiten der Vorlauf und Nachlaufarbeiten ermittelt, um eine Gesamtbetrachtung der Bauzeiten vornehmen zu können. Am Ende kann dadurch eingeschätzt werden, um wie viele Wochen sich die Gesamtbauzeit verringert.

Abweichend zu den Referenzbauwerken werden die ersten beiden Bauwerke noch einmal unterteilt. Es wird zusätzlich ein Rahmenbauwerk bzw. Einfeldbauwerk bis 15 m Stützweite betrachtet, da dies eine geringere Bauzeit benötigt und dafür auch andere Bauweisen zum Einsatz kommen, als für ein vergleichbares Bauwerk mit einer Stützweite von 30 m.

Basis der Untersuchung ist die in Bild 5-2 auszugsweise dargestellte Datenbank. Die vollständige Datenbank ist in der Anlage 1 hinterlegt.

5.1.4 Vorlaufarbeiten

Unabhängig von der einzelnen Bauweise sind für jedes Referenzbauwerk Vorlaufarbeiten notwendig, welche in jeder Variante die gleiche Dauer in Anspruch nehmen. Bei der Bauzeitenbetrachtung wird mit den Zeiten aus Tabelle 5-1 und Tabelle 5-2 gerechnet.

Einfeldbauwerk/Rahmen bis 15 m	12
Rahmen 15 m – 30 m	12
Einfeldbauwerk 15 m bis 30 m	12
Zweifeldbauwerk bis 70 m	15
Dreifeldbauwerk bis 100 m	18

Tab. 5-1: Dauer der Ausführungsplanung und Baufreigabe in Wochen

Einfeldbauwerk/Rahmen bis 15 m	3
Rahmen 15 m – 30 m	4
Einfeldbauwerk 15 m bis 30 m	4
Zweifeldbauwerk bis 70 m	5
Dreifeldbauwerk bis 100 m	6

Tab. 5-2: Dauer der Herstellung Mittelstreifenüberfahrt, BE, Verbau, Rückbau Bestand, Baugrube in Wochen

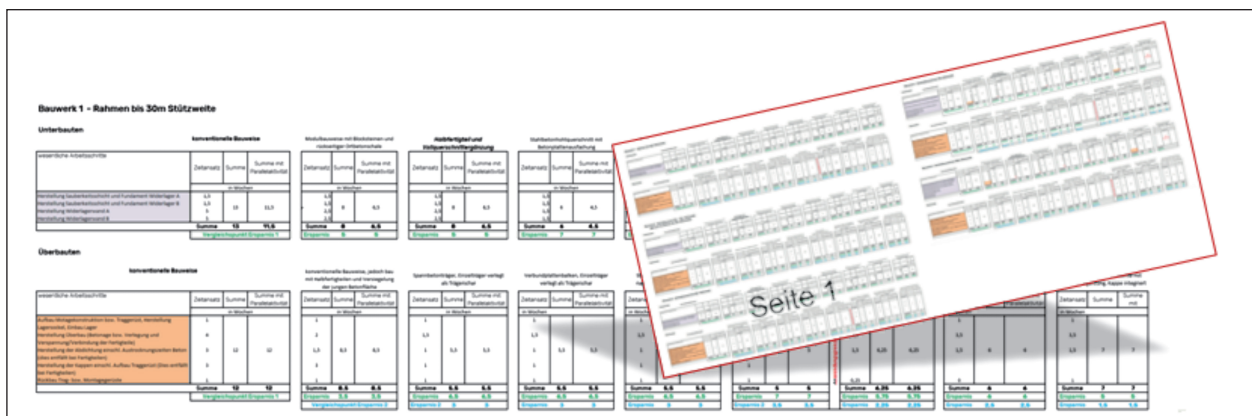


Bild 5-2: Datenbank Unter- und Überbauten (Anlage 1)

5.1.5 Unterbauten

In Bild 5-3 ist der Bauzeitenvergleich der einzelnen Varianten für die Bauzeit in Endlage, also die Zeit, in der durch den Bau Verkehrseinschränkungen verursacht werden, dargestellt.

Im Ergebnis ist festzustellen, dass bei den Vollfertigteilvarianten die größten Bauzeiteinsparungen festzustellen sind. Hingegen sind bei den Varianten mit Ortbetonerfüllungen geringere Bauzeiteinsparungen zu verzeichnen. Die Variante der seitli-

chen Vorfertigung ergibt die größten Reduzierungseffekte für die Verkehrseinschränkungen, die Bauzeit dieser Variante bleibt jedoch gleich, da an der Bauweise nichts geändert wird.

5.1.6 Überbauten

In Bild 5-4 ist der Bauzeitenvergleich der einzelnen Varianten für die Bauzeit in Endlage, also die Zeit, in der durch den Bau Verkehrseinschränkungen verursacht werden, dargestellt.

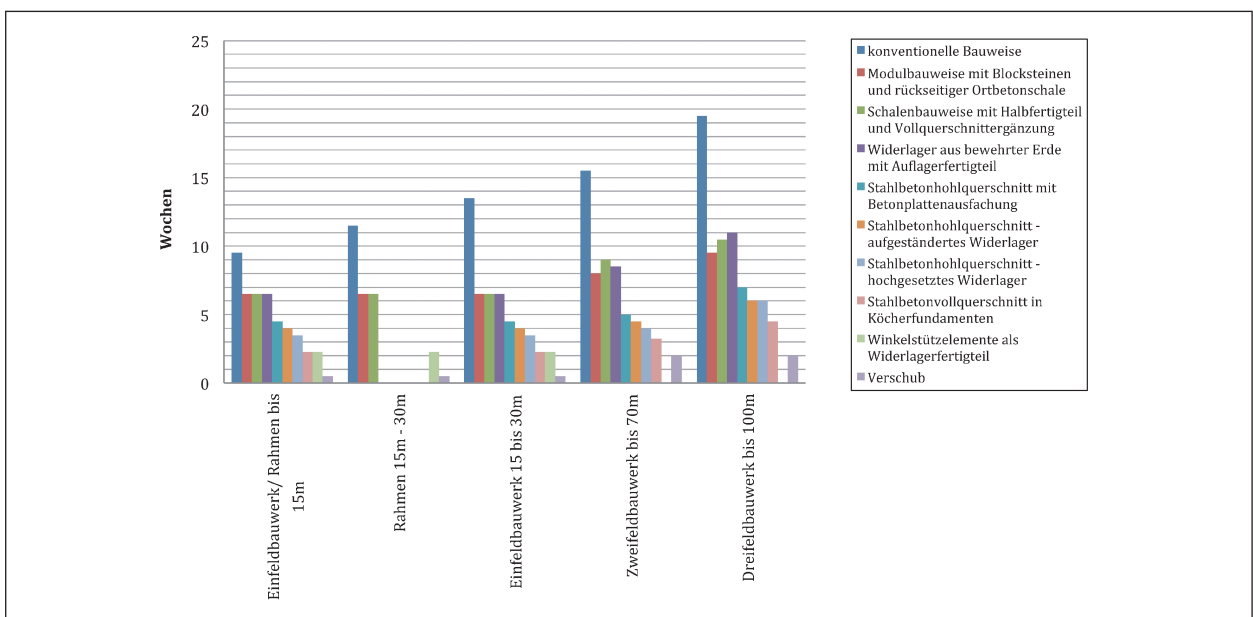


Bild 5-3: Herstellung der Unterbauten in Endlage

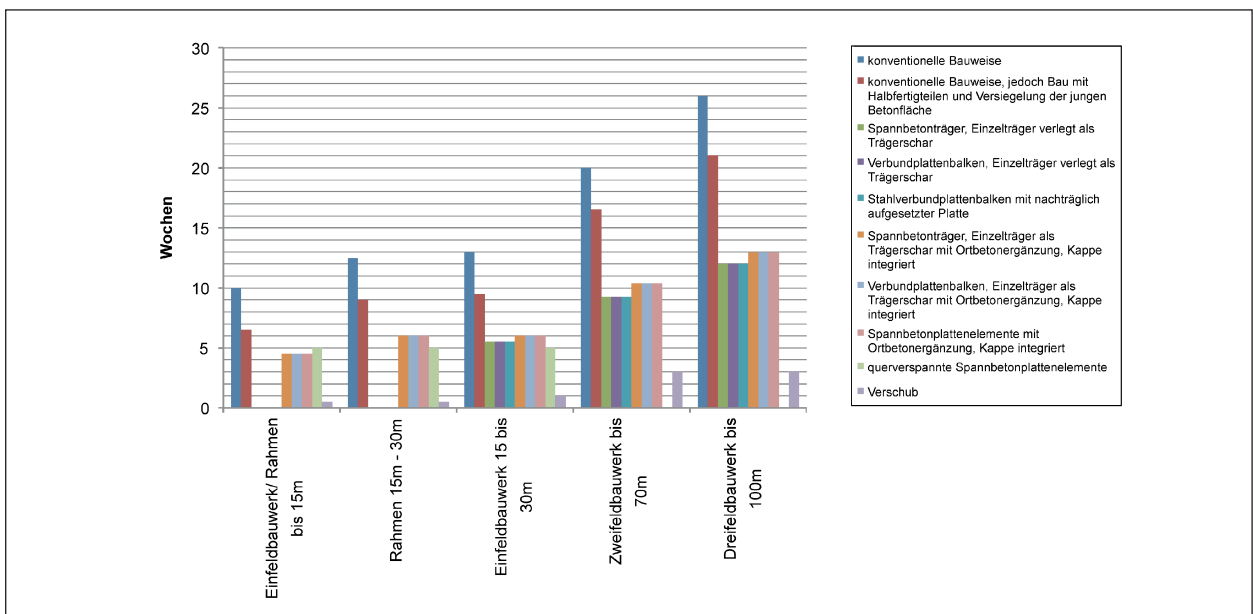


Bild 5-4: Herstellung der Überbauten in Endlage

Auch hier ist zu erkennen, dass die Bauzeit erheblich reduziert werden kann. Die Einsparungen sind hier nicht ganz so extrem ausgeprägt wie bei der Herstellung der Unterbauten, da durch die gegenwärtige Nutzung von Spannbeton- oder Verbundfertigteilträgern und gleichzeitiger Versiegelung der jungen Betonfläche schon große Einsparpotenziale genutzt werden.

Im Ergebnis ist festzustellen, dass alle Varianten ähnliche Einsparungen ergeben und sich eher durch Ihre jeweiligen Vor- und Nachteile unterscheiden.

Der Vershub des Überbaus ergibt natürlich die größten Einspareffekte, wobei dies als Sonderfall zu sehen ist.

5.1.7 Nachlaufarbeiten

Einfeldbauwerk/Rahmen bis 15 m	2,5
Rahmen 15 m – 30 m	5
Einfeldbauwerk 15 m bis 30 m	4
Zweifeldbauwerk bis 70 m	6
Dreifeldbauwerk bis 100 m	6

Tab. 5-3: Dauer der Nachlaufarbeiten in Wochen (Errichtung Hinterfüllung, Entwässerung, ggf. Schlepplatte herstellen, Brückenausstattung, Fahrbahn, BE räumen, Verkehrsführung aufheben)

5.1.8 Bauzeitenvergleich

In einem letzten Schritt werden die Zeiten der Vorlaufarbeiten (Kapitel 5.1.4), der Arbeiten zur Herstellung der Unterbauten (Kapitel 5.1.5) und Überbauten (Kapitel 5.1.6) sowie die Nachlaufarbeiten (Kapitel 5.1.7) zusammengerechnet und die Gesamtbauzeiten sowie die Einspareffekte in der Bauzeit in Endlage sowie hinsichtlich der Verkehrseinschränkungen ermittelt.

Durch die Anwendung der innovativen Bauweisen können die Sperrzeiten je Richtungsfahrbahn um mindestens 20 % bis sogar 40 % reduziert werden.

Durch die Anwendung der innovativen Bauverfahren können die Sperrzeiten je Richtungsfahrbahn sogar um 70 % reduziert werden.

Die Gesamtbauzeit kann um bis zu 35 % reduziert werden.

5.2 Variantenvergleich

5.2.1 Vorstellung der Bewertungsmatrix

Der Variantenvergleich soll auf Grundlage einer Bewertungsmatrix vorgenommen werden. Die Bewertung erfolgt für die Unter- und Überbauten getrennt. Dabei besteht die Bewertungsmatrix aus 6 Bewer-

Bauausführung 1. Richtungsfahrbahn	Einfeldbauwerk/Rahmen bis				Rahmen 15m - 30m				Einfeldbauwerk 15 bis 30m				Zweifeldbauwerk bis 70m				Dreifeldbauwerk bis 100m			
	Innovativ				Innovativ				Innovativ				Innovativ				Innovativ			
	kon-serv.	mini-mal	maxi-mal	Ver-schub	kon-serv.	mini-mal	maxi-mal	Ver-schub	kon-serv.	mini-mal	maxi-mal	Ver-schub	kon-serv.	mini-mal	maxi-mal	Ver-schub	kon-serv.	mini-mal	maxi-mal	Ver-schub
Ausführungsplanung und Freigabe	12				12				12				15				18			
Vorfertigung in Seitenlage einschl. 4 Wochen für das Herstellen der Baustellenzufahrt und Vorfertigungsflächen				20				24,5				27				36				44,5
Mittelstreifenüberfahrt, BE, Verbau, Rückbau, Baugrube	3				4				4				5				6			
Herstellung der Unterbauten in Endlage	9,5	2,25	6,5	0,5	11,5	2,25	6,5	0,5	13,5	2,25	6,5	0,5	15,5	3,25	9	2	19,5	4,5	11	2
Herstellung der Überbauten in Endlage	6,5	4,5	5	0,5	9	5	6	0,5	9,5	5	6	1	16,5	9,25	10,38	3	21	12	13	3
Hinterfüllung, Entwässerung, ggf. Schlepplatte, Brückenausstattung, Fahrbahn, BE räumen, Verkehrsführung aufheben	2,4				5				4				6				6			
Summe der Bauzeit unter Sperrung der Richtungsfahrbahn	21	12	17	6	30	16	22	10	31	15	21	10	43	24	30	16	53	29	36	17
Zeiteinsparung Sperrung je Richtungsfahrbahn in Wochen		9,25	4,50	15,00		13,25	8,00	19,50		15,75	10,50	21,50		19,50	12,63	27,00		24,00	16,50	35,50
Zeiteinsparung Sperrung je Richtungsfahrbahn in Prozent		43%	21%	70%		45%	27%	66%		51%	34%	69%		45%	29%	63%		46%	31%	68%
Gesamtbauzeit je Richtungsfahrbahn	33	24	29	38	42	28	34	47	43	27	33	49	58	39	45	67	71	47	54	80
Gesamtbauzeit je Richtungsfahrbahn in Prozent	100%	72%	87%	115%	100%	68%	81%	112%	100%	63%	76%	113%	100%	66%	78%	116%	100%	66%	77%	113%
Bauzeit gesamtes Bauwerk (Die Ausführungsplanung des 2. Teilbauwerkes läuft dabei parallel zur Ausführung des 1. Teilbauwerkes)	55	36	46	65	71	45	55	81	74	43	53	85	104	65	79	122	129	81	96	147
Sperrung Richtungsfahrbahn	21	12	17	6	30	16	22	10	31	15	21	10	43	24	30	16	53	29	36	17
Sperrung Gegenrichtungsfahrbahn	21	12	17	6	30	16	22	10	31	15	21	10	43	24	30	16	53	29	36	17
Sperrung Gesamt	43	24	34	13	59	33	43	20	62	31	41	19	86	47	61	32	105	57	72	34
Reduktion der Sperrung der Autobahn in Wochen		18,5	9,0	30,0		26,5	16,0	39,0		31,5	21,0	43,0		39,0	25,3	54,0		48,0	33,0	71,0
Reduktion der Sperrung in Prozent		43%	21%	70%		45%	27%	66%		51%	34%	69%		45%	29%	63%		46%	31%	68%

Bild 5-5: Bauzeitenvergleich in Wochen (Anlage 2)

tungskriterien, welche das Ziel des Forschungsvorhabens widerspiegeln, aber auch die Bewertungskriterien der RIZ-ING [12] mit aufnehmen. Jedes Bewertungskriterium wird noch durch entsprechende Untergruppen untergliedert, um die Bewertung nachvollziehbarer zu gestalten.

Im Einzelnen werden folgende Bewertungskriterien verwendet

- Zeitfaktor/Verkehrseinschränkung,
- Einfluss der Umgebungsbedingungen bei der Umsetzung der Bauweise (Planung und Bauausführung),
- Gefährdung von Personen,
- technische Belange bei der Umsetzung der Bauweise (Planung und Bauausführung),
- Betrieb und Unterhaltung,
- Nachhaltigkeit.

Als Bewertungsskala können 1 bis 10 Punkte vergeben werden, wobei das konventionelle Vorgehen durchgehend mit 5 Punkten bewertet wird und so-

mit den Median darstellt. Die innovativen Ansätze können das Bewertungskriterium entweder besser, schlechter oder gleichgut wie das bisherige Vorgehen erfüllen.

Die Baukosten bzw. Gesamtkostenbetrachtung gehen indirekt über den Zeitfaktor ein, da der vermiedene volkswirtschaftliche Schaden deutlich höher ist, als der Kostenunterschied zwischen der konventionellen und innovativen Bauweise (siehe hierzu Kapitel 5.2.3). Aus diesem Grund gibt es kein gesondertes Bewertungskriterium hinsichtlich der Baukosten.

Die Bewertung der Nachhaltigkeit wird in der Matrix automatisch berechnet. Grundsätzlich wird auf die einheitlichen Bewertungskriterien für Infrastrukturbauwerke im Hinblick auf Nachhaltigkeit zurückgegriffen [28]. Dies geschieht dadurch, dass die vorgestellten fünf Bewertungskriterien entsprechenden Nachhaltigkeitskriterien zugeordnet werden. Das dadurch ermittelte Ergebnis wird noch durch den prozentualen Anteil des Nachhaltigkeitskriteriums an der Gesamtsumme der Nachhaltigkeit gemäß Brücken- und Ingenieurbau Heft B 125 [28] faktorisiert. Die so ermittelte Summe aller Teilergeb-

Nr.	Bewertungskriterien	Untergruppen	Gruppen/ Gruppenpaare Nachhaltigkeits- betrachtung	Wichtungsfaktor	einzelne Bewertungs- punkte ohne Wichtung	gemittelte und gewichtete Summe der Bewertungs- punkte	
1	Zeitfaktor/Verkehrseinschr.	Bauzeit in Endlage, Verkehrseinschränkungen (räumlich und zeitlich)	1/3	3	5	= 15	
2	Einfluss der Umgebungsbedingungen bei der Umsetzung Bauweise (Planung und Bauausführung)	Räumliche Ausdehnung (Platzbedarf zur Umsetzung der Ersatzneubauten)		2	5	Σ/2	+ 10
		Witterungsabhängigkeit und Fertigungsbedingungen (Vorfertigungsgrad, Vorfertigungsgrad in Herstelllage)		5			+ 10
3	Gefährdung von Personen	Verkehrssicherheit und Arbeitsschutz	1	5		= 5	
4	technische Belange bei der Umsetzung der Bauweise (Planung und Bauausführung)	Ausführungsrisiken der Bauweise (Herstellungsfehler, Zusammenbaufehler, Komponentenanzahl)	4/5	2	5	Σ/2	+ 10
		Abweichungen vom Regelwerk		5			+ 10
5	Betrieb und Unterhaltung	Robustheit; Funktionstüchtigkeit; Dauerhaftigkeit	2	1	5	Σ/3	- 5
		leichte Prüfbarkeit (DIN 1076)			5		
		Erhaltungsfreundlichkeit			5		
6	Nachhaltigkeit	Berechnungsformel:		2		17,75	
Bewertungsskala: 1 - 10 Punkte, Median = 5, entspricht dem konventionellen Vorgehen						=	
Die Kosten gehen versteckt über den Zeitfaktor ein, da die gesparten volkswirtschaftlichen Kosten deutlich höher sind, als der Kostenunterschied zwischen der konventionellen und innovativen Bauweise						Summe	62,75

Bild 5-6: Berechnungsvorgang der Bewertungsmatrix am Beispiel des konventionellen Vorgehens

Gruppe	Hauptkriterien für Nachhaltigkeit [28]	Anteil [28]	Gruppenpaare	Anteil
1	Ökologische Qualität	22,5 %	1/3	45,0 %
2	Ökonomische Qualität	22,5 %	2	22,5 %
3	Soziokulturelle und funktionale Qualität	22,5 %		
4	Technische Qualität	22,5 %	4/5	32,5 %
5	Prozessqualität	10,0 %		
	Summe	100,0 %		100,0 %

Tab. 5-4: Nachhaltigkeit, Kriterien und prozentualer Anteil

Nr.	Bewertungskriterien	Untergruppen	Gruppe n / Gruppenpaare Nachhaltigkeit's Betrachtung	Wichtungsfaktor einzelne Bewertungspunkte ohne Wichtung	gewichtete und gewichtete Summe der Bewertungspunkte	gewichtete Summe der Nachhaltigkeit's Gruppe	Prozentualer Anteil an der Nachhaltigkeit (siehe Gruppe)	gewichtete Bewertungspunkte der Nachhaltigkeit
1	Zeitfaktor/Verkehrseinschr.	Bauzeit in Endlage, Verkehrseinschränkungen (räumlich und zeitlich)	1/3	3 × 5 = 15	Σ/3 10	45%	4,50	
2	Einfluss der Umgebungsbedingungen bei der Umsetzung Bauweise (Planung und Bauausführung)	Räumliche Ausdehnung (Platzbedarf zur Umsetzung der Ersatzneubauten) Witterungsabhängigkeit und Fertigungsbedingungen (Vorfertigungsgrad, Vorfertigungsgrad in Herstelllage)		2 × 5 = 10				
3	Gefährdung von Personen	Verkehrssicherheit und Arbeitsschutz	1 × 5 = 5	5			+	
4	technische Belange bei der Umsetzung der Bauweise (Planung und Bauausführung)	Ausführungsrisiken der Bauweise (Herstellungsfehler, Zusammenbaufehler, Komponentenanzahl) Abweichungen vom Regelwerk	4/5	2 × 5 = 10	10	32,5%	3,25	
5	Betrieb und Unterhaltung	Robustheit; Funktionstüchtigkeit; Dauerhaftigkeit leichte Prüfbarkeit (DIN 1076) Erhaltungsfreundlichkeit		2 × 5 = 10				
6	Nachhaltigkeit	Berechnungsformel: Nachhaltigkeit = Σ Gruppe 1/3 / n * 45% + Σ Gruppe 2 / n * 22,5% + Σ Gruppe 4/5 / n * 32,5%	2	17,75	Wichtung × 8,9 =			
				Summe	62,75			

Bewertungsskala: 1 - 10 Punkte, Median = 5, entspricht dem konventionellen Vorgehen
Die Kosten gehen versteckt über den Zeitfaktor ein, da die gesparten volkswirtschaftlichen Kosten deutlich höher sind, als der Kostenunterschied zwischen der konventionellen und innovativen Bauweise.

Bild 5-7: Berechnungsvorgang der Bewertungsmatrix

nisse für die Nachhaltigkeit, ergibt dann die Punktezahl für das Bewertungskriterium der Nachhaltigkeit.

Des Weiteren werden noch alle Bewertungspunkte mit einem Faktor gewichtet. Dadurch kann der Schwerpunkt des Projektes noch besser abgebildet werden.

5.2.2 Variantenbewertung einschließlich Variantenvergleich

Auf Grundlage der im Kapitel 5.2.1 vorgestellten Bewertungsmatrix wurden die einzelnen Varianten bewertet. Die tabellarische Darstellung der Variantenbewertung ist in Anlage 3 hinterlegt. In Bild 5-8 und Bild 5-9 wird das Bewertungsergebnis mithilfe eines Säulendiagrammes dargestellt. In diesem können neben dem Gesamtergebnis auch die Teilergebnisse je Bewertungskriterium nachvollzogen werden.

Bewertung der Unterbauvarianten

Für die Unterbauten liegen die Varianten der hochgesetzten Widerlager aus Kastenprofilen (Kapitel 3.4.6), die Vollquerschnitte in Köcherfundamenten (Kapitel 3.4.7) und die Widerlager in der Winkelstützelementbauweise (Kapitel 3.4.8) für kleinere Stützweiten in der Bewertung (Bild 5-8) vorn. Der Abstand zum konventionellen Vorgehen ist erheblich. Ausschlaggebend sind die positiven Bewertungsergebnisse in der Bewertungskategorie des Zeitfaktors, der Einfluss bzw. der Einfluss auf Umgebungsbedingungen sowie günstigere Ergebnisse in der Nachhaltigkeitsbetrachtung. Hinsichtlich der Bewertung des Zeitfaktors liegt das Verschiebverfahren (Kapitel 4.2.2) an erster Stelle, weil hierbei die geringsten Verkehrsbeeinträchtigungen in Endlage verursacht werden.

Bewertung der Überbauvarianten

Bei der Bewertung der Überbauten besteht nicht so ein großer Abstand zwischen den innovativen Ansätzen und der konventionellen Vorgehensweise. Das liegt vor allem daran, dass für die konventionelle Bauweise auch die Bauweise mit Fertigteilträger beachtet wurde. Bei der Herstellung des Überbaus vor Ort, würden sich ähnlich große Unterschiede wie bei den Unterbauten ergeben.

Fast alle innovativen Ansätze liegen annähernd gleichauf. Dies liegt daran, dass die Vorteile in einem Bewertungskriterium durch die Nachteile in einem anderen Kriterium bei den Varianten genau entgegengesetzt ausglich werden (siehe Bild 5-9).

5.2.3 Ökologische und volkswirtschaftliche Potenziale der innovativen Bauweisen und Bauverfahren in Hinblick der Bauzeitreduzierung und Reduzierung der Verkehrseinschränkungen

Allgemeines

Wie im Bericht zur Entwicklung einheitlicher Bewertungskriterien für Ingenieurbauwerke im Hinblick auf Nachhaltigkeit [28] dargestellt ist, stellen von den fünf Bewertungskriterien die Säulen der Ökologischen Qualität und die der Ökonomischen Qualität einen entscheidenden Anteil dar. Bezogen auf die Erneuerung von Autobahnbrücken können durch Staubbildung der Ökologischen Säule die da-

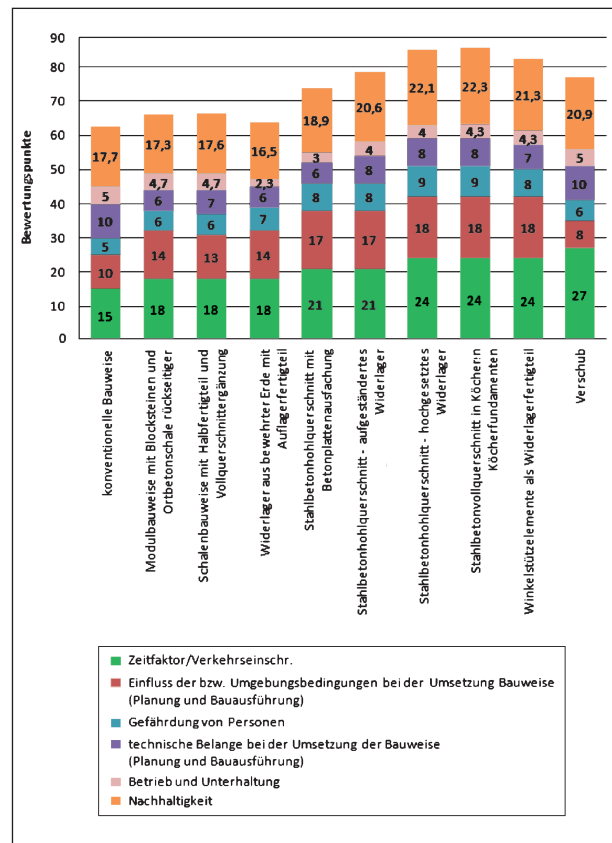


Bild 5-8: Variantenvergleich der Unterbauten

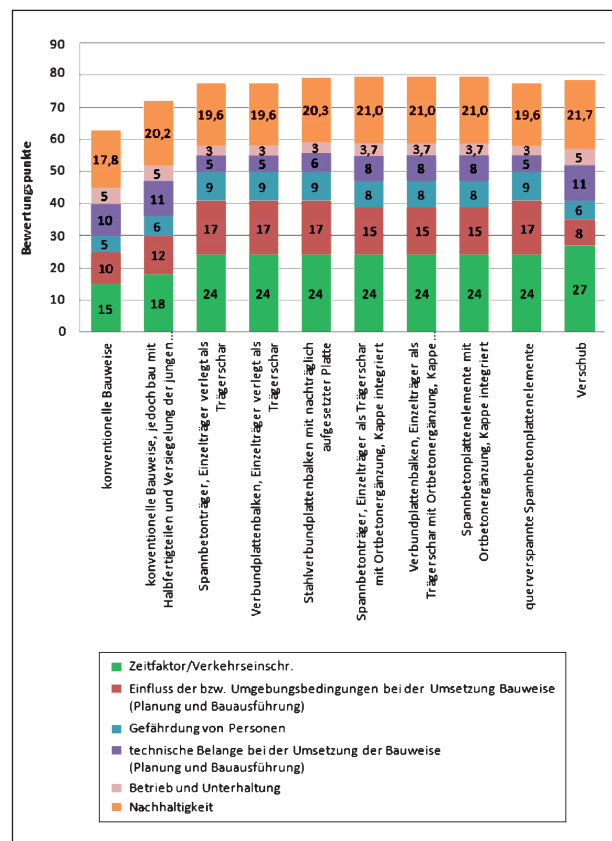


Bild 5-9: Variantenvergleich der Überbauten

mit verbundenen schädlichen Emissionen und der Ökologischen Säule die entstehenden volkswirtschaftlichen Schäden zugeordnet werden. Im Hinblick auf die Nachhaltigkeit sind diese beiden Sachverhalte von entscheidender Bedeutung. Gleichwohl ist bekannt, dass natürlich auch weitere Aspekte bei der Betrachtung der einzelnen Säulen eine Rolle spielen, jedoch lässt sich anhand der Staubildung im Zuge von Baustellen auf Autobahnen der Einfluss der innovativen Bauweisen gut veranschaulichen. Das Ziel des Forschungsvorhabens der Verringerung der Bauzeit und damit einhergehenden Verkehrseinschränkungen zielt auch direkt auf diese beiden Säulen der Nachhaltigkeit ab. Nachfolgend werden beide Aspekte in Hinblick der Bauzeitreduzierung betrachtet.

Ökologische Säule

Den Schwerpunkt bildet dabei die aus Baumaßnahmen von Ersatzbauwerken resultierenden Staus und deren Folgen auf die Umwelt. Fakt ist, dass „Brücken als wesentliche Infrastrukturkomponenten aufgrund ihrer starken Vernetzung mit der umgebenden Umwelt und dem Verkehr bei nahezu jeder im Bestand durchgeführte Brückenbaumaßnahme Behinderungen und Staus“ verursachen [29].

Laut der ADAC-Staubilanz von 2017 wurden auf deutschen Autobahnen insgesamt rund 723.000 Stauereignisse gemeldet. Im Vorjahr waren es rund 694.000 Staus. In Kilometern ausgedrückt summierte sich die Staulänge im Jahr 2017 auf etwa 1.448.000 km. Durchschnittlich entstanden so ca. 4.000 Kilometer Stau täglich! Weiterhin konnte die

Stundenanzahl von rund 457.000 Stunden ermittelt werden. Das entspricht in etwa einer Gesamtzeit von 19.041,7 Tagen (ca. 52,3 Jahre). Die Top 3 Bundesländer bzgl. der meisten Staumeldungen sind Nordrhein-Westfalen mit 35 %, Bayern mit 18 % und Baden-Württemberg mit 11 %. Insgesamt lässt sich eine Zunahme der Stauereignisse zum Vorjahr von 4 % feststellen [30].

Ein Zusammenhang zwischen Staugeschehen und Baustellen ist im Jahresverlauf 2017 wieder erkennbar. Im Bild 5-10 wird der Zusammenhang zwischen Staus und Baustellen deutlich.

Im Folgenden werden Rückschlüsse auf die Schadstoffausstöße und die aus Staus resultierenden externen Kosten gezogen.

Direkte und indirekte Einflussfaktoren auf die Kosten sind u. a.:

- Fahrzeugtyp, Gewicht,
- Kraftstoffart,
- aktuelle Geschwindigkeit,
- Beschleunigung,
- Steigung der Straße.

Neben wirtschaftlichen und gesundheitlichen Problemen erhöhen sich durch Stau/Stop-and-go-Verkehr der Kraftstoffverbrauch und der erzeugte CO₂-Ausstoß. Ein Benzinmotor verbraucht bspw. im Leerlauf zwischen 0,75 bis 1,0 Liter pro Stunde [31].

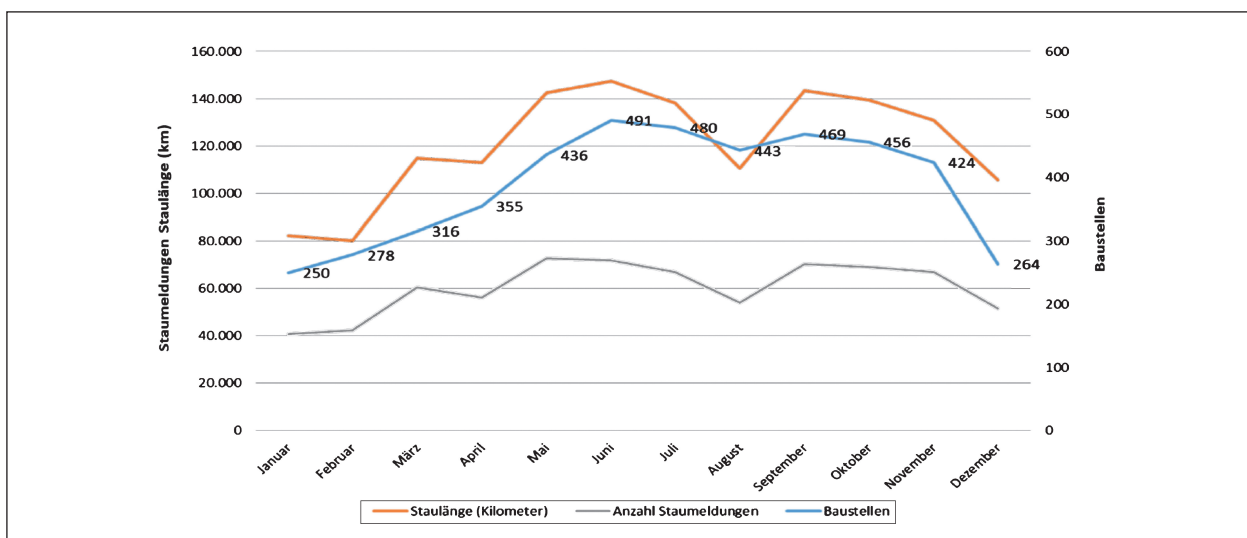


Bild 5-10: Staus und Baustellen im Jahresverlauf 2017, gemäß ADAC [30]

Auf die Auswirkungen einzelner oben genannter Einflussfaktoren wird im Rahmen des Forschungsprogramms nicht im Detail eingegangen.

Das Bundesamt für Raumentwicklung (Schweiz) berechnete einen Mehrverbrauch des Treibstoffs bei Staus auf Autobahnen von 9,7 auf 18,2 Liter pro 100 Kilometer. Dabei wurde der Verbrauch von Benzin- und Dieselmotoren gemittelt. Der daraus resultierende Faktor beträgt 1,88. Dies gilt unter der Annahme, dass die Staugeschwindigkeit dabei ca. 10 km/h beträgt. Die Abgase, die dadurch ausgestoßen werden sind mehr als doppelt so hoch. Der zusätzliche CO₂-Ausstoß auf Autobahnen liegt bei 2,33 Kilogramm pro Stunde und Fahrzeug [31].

Nehmen wir uns den oben genannten Wert der durchschnittlichen Staulänge eines Tages für das Jahr 2017 mit 4.000 km Länge, so wurden durch Staus am Tag zusätzlich 340 l Sprit verbraucht. Der zusätzliche Spritverbrauch allein würde bei einem Kraftstoffpreis von 1,50 €/Liter ein Kostenpunkt von 510 €/pro Pkw ergeben. Bzgl. Des CO₂-Ausstoßes sind andere Kennwerte heranzuziehen. Die Gesamtsumme der Stautunden laut der ADAC Staubilanz 2017 belaufen sich auf 457.000 Stunden. Bricht man dies auf einen Tag des Jahres runter, so entspricht das theoretisch 1.252 Stunden täglich im Stau. Wie bereits oben genannt, erhöht sich der CO₂-Ausstoß im Stau auf Autobahnen um 2,33 kg/h pro Fahrzeug. Bei der rein fiktiven Annahme, dass die täglich anfallende Staulänge von

4.000 km nur aus Pkw gebildet wird, so bedeutet das, dass es sich um eine Fahrzeuganzahl von ca. 500.000 Pkw (Richtwert Fahrzeuglänge plus Sicherheitsabstand ca. 8 m) handelt. Rechnet man nun die Fahrzeuganzahl (500.000 Pkw) mal den zusätzlichen CO₂-Ausstoß (2,33 kg/h pro Pkw) mal tägl. Stauzeit (1.252 h) so ergibt sich ein CO₂-Ausstoß von 1.458.580.000 kg. Auf das gesamte Jahr 2017 gesehen (CO₂-Ausstoß x 365 Tage) sind es 532.381.700.000 kg CO₂. Um einen monetären Wert für den Ausgleich einer Tonne CO₂ zu nennen, wird der Vergleich zum Emissionshandel (findet derzeit nur für den CO₂-Ausgleich von Kraftwerken und Fabriken Anwendung) herangezogen. Derzeit liegt der Wert für eine Tonne CO₂ bei ca. 8 €. Da dieser Wert zu geringfügig ist, könnte es nach den neusten Verhandlungen (Stand 2017) auf 25 € pro Tonne CO₂ ansteigen [32]. Bei dem Stauennwert von 2017 bedeutet dies einen CO₂-Ausstoß von 532.381.700 t. Der finanzielle Ausgleich für diesen CO₂-Ausstoß würde sich bei 8 €/t auf ca. 4.259.053.600 € belaufen.

Die Staubilanz des ADAC zeigt deutlich, dass das Stauaufkommen sowohl vom Jahresverlauf, Wochentag (siehe Bild 5-11) als auch von dem Tagesverlauf abhängig ist.

Selbst innerhalb Deutschlands und der Bundesländer gibt es Unterschiede der Stauenzahlen. Kommt es auf einer stark genutzten Autobahn bspw. in Ballungsräumen zu einer Baumaßnahme, ist Stau quasi vorprogrammiert und die Umweltbelastungen erhöhen sich durch Schadstoffausstöße, Ressourcenverbrauch (erhöhter Benzinverbrauch bei laufendem Motor), usw. enorm.

Daher ist es sinnvoll durch geeignete Bauweisen und Bauverfahren die baustellenbedingten Staus zu reduzieren. Die ökologisch wirksamen CO₂-Reduzierungen können in Tabelle 5-5 abgeschätzt werden.

Durch die Anwendung der vorgestellten innovativen Bauweisen und Bauverfahren ist es möglich, die Bauzeit mit Verkehrseinschränkungen erheblich zu reduzieren (siehe Kapitel 5.1.8). Neben den volkswirtschaftlichen Einsparungen an Arbeitszeit und Kraftstoffverbrauch können sich ökologisch wirksame CO₂-Reduzierungen einstellen. Das Potenzial liegt in einer jährlichen Einsparung von ca. 34,8 Mio. t CO₂ bzw. Vergleichskosten aus dem Emissionshandel von ca. 186 Mio. €.

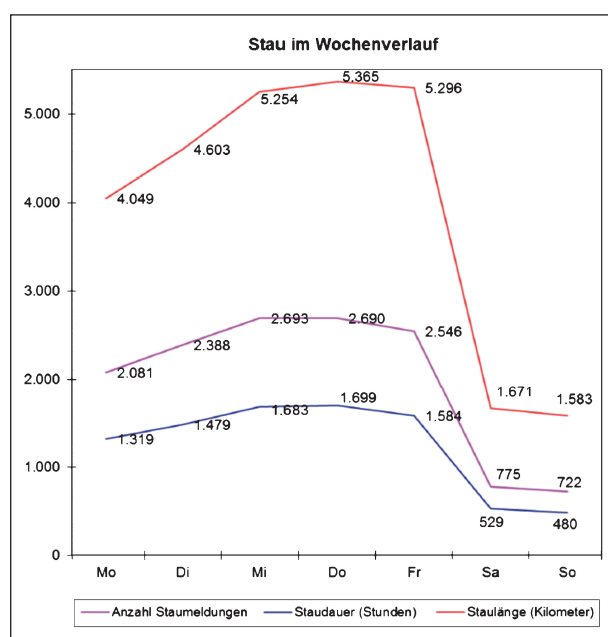


Bild 5-11: Stausituation im Wochenverlauf 2017, gemäß ADAC [30]

Stauerscheinungen	CO ₂ -Ausstoß	Wert in Form von CO ₂ -Ausgleichszahlungen
Gesamte Stauerscheinungen	532 Mio. t/a	4,26 Mrd. €
Davon baustellenbedingt Schätzung 33 % [33]	175 Mio. t/a	1,41 Mrd. €
Davon Brückenbaustellen Schätzung 33 %	58 Mio. t/a	0,465 Mrd. €
Einsparmöglichkeiten durch Bauzeitreduzierung um bis zu 40 % gemäß 5.1.8.	58 Mio. t/a x 40 % = 23,2 Mio t/a	0,465 Mrd. € x 40 % = 186 Mio.€

Tab. 5-5: Staubedingter CO₂-Ausstoß und Ausgleichszahlungen

Stauerscheinungen	Staulänge	Volkswirtschaftlicher Schaden
Gesamte Stauerscheinungen	1.448.000 km	496 Mrd. €
Davon baustellenbedingt Schätzung 33 % [33]	477.840 km	164 Mrd. €
Davon Brückenbaustellen Schätzung 33 %	157.687 km	54 Mrd. €
Einsparmöglichkeiten durch Bauzeitreduzierung um bis zu 40 % gemäß 5.1.8.	157.687 km x 40 % = 63.075 km	21 Mrd. €

Tab. 5-6: Stauerscheinungen und daraus resultierende volkswirtschaftliche Schäden

Ökonomische Säule

Wie schon im vorangegangenen Abschnitt dargestellt, sind Baustellen auf den Autobahnen und Bundesfernstraßen in erheblichen Maße an der Staubildung auf diesen Verkehrswegen beteiligt. Der durch die Brückenbaustellen verursachte Stau ist für die Entstehung erheblicher schädlicher Emissionen mit verantwortlich. Die monetären Schäden wurden am Beispiel der Ausgleichszahlungen im Emissionshandel betrachtet.

Neben den Schäden verursacht der Stau auf den Autobahnen einen erheblichen volkswirtschaftlichen Schaden. Auf dem Kolloquium „Wege aus dem Stau“ [33] wurde festgestellt, dass eine volkswirtschaftlicher Schaden von ca. 40 Mrd. € aufgrund von Baustellen entsteht. Wenn man diesen Wert durch Division der zugehörigen Staukilometer auf einen einzigen Staukilometer herunterrechnet, verursacht ein Kilometer Stau einen volkswirtschaftlichen Schaden von ca. 340 T€.

Unter Verwendung der im vorangegangenen Kapitel dargestellten Staulängen treten unter Verwendung dieses Ansatzes (siehe Tabelle 5-6) volkswirtschaftlichen Schäden auf.

Auch wenn das vorangegangene Rechenbeispiel nur eine fiktives nicht im Einzelnen hinsichtlich der Ansätze wissenschaftlich nachgewiesenes Rechenbeispiel darstellt, wird eines deutlich, dass durch die Anwendung der innovativen Bauweisen

und Bauverfahren neben der Reduzierung der Emissionen auch erhebliche volkswirtschaftliche Schäden verhindert werden können. Der im Kapitel 5.2.1 vorgestellte Bewertungsansatz, dass durch den Zeitfaktor die Gesamtkosten, also die Wirtschaftlichkeit verdeckt mit abgebildet werden, wurde durch dieses Rechenbeispiel bestätigt.

Schlussfolgerungen

Mit den innovativen Bauweisen und Bauverfahren können die angestrebten Potenziale hinsichtlich der Reduzierung der Verkehrseinschränkungen und der Gesamtbauzeit entfaltet werden und es entstehen dadurch gleichzeitig ökologische und ökonomische Vorteile, welche sich gesamtgesellschaftlich positiv auswirken können.

5.2.4 Auswahl, der weiter zu betrachtenden Varianten

Wie im Kapitel 3.1 beschrieben, sind die aufgezeigten Innovativen Ansätze und Verfahren in Form eines Baukastensystems, geteilt für die Unterbauten, Überbauten und Kappen, angelegt. Dies ermöglicht, dass für die weiter zu betrachtenden Varianten die, für das jeweilige Referenzbauwerk jeweils passenden Ansätze weitestgehenden frei ausgewählt und zu einem Brückenbauwerk zusammengestellt werden können. Neben dem Zusammensetzen der Bauwerke aus denen im Baukastensystem darge-

stellten Möglichkeiten sind in den nächsten Schritten mit der Detaillierung der Planung die im Kapitel 3 unter den jeweiligen Varianten vermerkten Fragestellungen zu beantworten.

Bauwerk 1 – Rahmen mit bis zu 30 m Stützweite

Für das Rahmenbauwerk mit einer Stützweite von bis zu 30 m wird das Verfahren der seitlichen Vorfertigung und Quereinschub des Bauwerkes mittels dem Fluidverfahren gemäß Kapitel 4.2.2 betrachtet. Hinsichtlich der Baukonstruktion wird für den Unterbau ein konventionelles Kastenwiderlager betrachtet. Für den Überbau kommen die innovativen Ansätze der Spannbetonfertigteile ohne Kappe gemäß Kapitel 3.5.6 und Kapitel 3.6.4 zur Anwendung, da auch bei der seitlichen Vorfertigung ein entsprechender Zeitvorteil erreicht werden soll, welcher letztlich die Gesamtbaupzeit reduziert.

Bauwerk 2 – Einfeldsystem mit einer Gesamtlänge von 10 m – 30 m

Für das Einfeldsystem ist eine Variante für eher kürzere Bauwerke mit einer Stützweite bis zu 20 m zu betrachten, um auch Unterschiede zu den anderen Bauwerken herauszuarbeiten. Für die Unterbauten ist die Variante der vorgefertigten Winkelstützelemente gemäß Kapitel 3.4.8 zu betrachten. Als Überbauvariante soll die Vollfertigteilverante der Spannbetonplatte mit einbetonierten Hohlkörpern gemäß Kapitel 3.5.5 Anwendung finden. Die Kappe ist dabei als Gesimsaufkantung mit vorgestellter Betonschutzwand gemäß Kapitel 3.6.4 auszubilden.

Bauwerk 3 – Zweifeldsystem mit einer Gesamtlänge von bis zu 70 m

Das Bauwerk 3 soll mit Unterbauten der Bauform der Vollquerschnitte in Köcherfundamenten gemäß Kapitel 3.4.7 ausgebildet werden. Für den Überbau ist der Stahlverbundquerschnitt mit nachträglich aufgesetzter Platte gemäß Kapitel 3.5.4 zu planen. Die Randausbildung ohne Kappe mit Gesims wird auch bei dieser Variante als integrierte Lösung gemäß Kapitel 3.6.4 ausgeführt.

Bauwerk 4 – Dreifeldsystem mit einer Gesamtlänge von bis zu 100 m

Das längste der zu betrachtenden Bauwerke wird mit Unterbauten der Hohlkastenbauweise mit hoch-

gesetzten Widerlagern gemäß Kapitel 3.4.6 geplant. Der Überbau wird als Stahlverbundquerschnitt mit Ortbetonergänzung gemäß Kapitel 3.5.6 und integriertem Gesims gemäß Kapitel 3.6.4 ausgebildet.

6 Erstellen von Konzepten für die Realisierung

6.1 Allgemeines

In diesem Kapitel werden die Konzepte für die Realisierung dargestellt und beschrieben. Die Art der Darstellung orientiert sich an der Gliederungsform der Richtlinie für das Aufstellen von Bauwerksentwürfen für Ingenieurbauten [RAB-ING, [34]]. Damit wird gewährleistet, dass alle vier Konzepte in der gleichen Tiefe beschrieben werden und auch mit geplanten Bauwerken nach dem herkömmlichen Vorgehen vergleichbar sind. Ergänzt wird die Beschreibung durch einen jeweiligen Bauwerksplan, welche sich in den Anlagen 6 bis 9 befinden.

Weiterführend werden noch die erzielbaren Vorteile hinsichtlich Bauzeit und Verkehrseinschränkung im Vergleich zum herkömmlichen Verfahren dargestellt und bewertet, sowie Abweichungen zum Regelwerk aufgezeigt. Ebenso werden die Kosten für den innovativen Ansatz abgeschätzt und mit denen des herkömmlichen Ansatzes verglichen.

6.2 Bauwerk 1 – Rahmen mit bis zu 30 m Stützweite

6.2.1 Allgemeine Objektbeschreibung

Im Brückenbereich verläuft die Trasse der Autobahn in einer Geraden. Das Längsgefälle ist für den Musterfall mit 0,5 % angenommen. Das Bauwerk ist als einfeldriges flach gegründetes Rahmenbauwerk mit einer Stützweite von 30 m geplant. Aus der durchgehend konstanten Konstruktionshöhe von 1,65 m des Überbaus resultiert eine Schlankheit von $30 \text{ m} / 1,65 \text{ m} = 18$.

Für die Autobahn wurde ein Querschnitt RQ 36 B der EKA 1 nach RAA – Richtlinie für die Anlage von Autobahnen [1] festgelegt. Der Abstand zwischen den Borden beträgt hierbei 14,50 m. Der Mittelstreifenbereich beträgt 4,00 m.

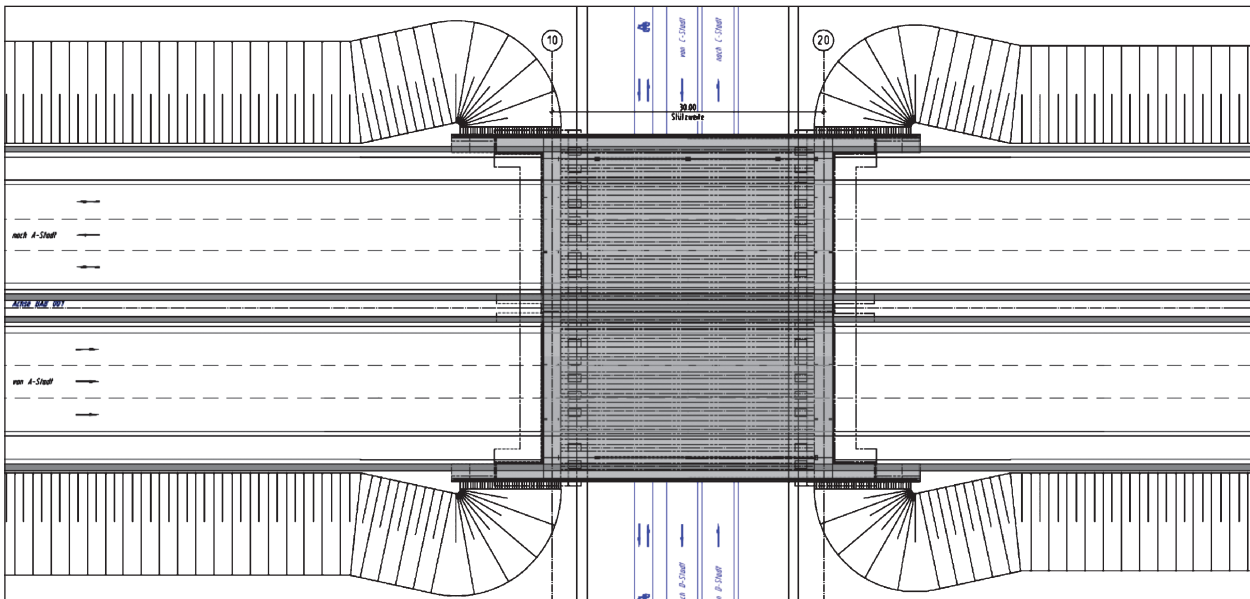


Bild 6-1: Grundriss Bauwerk 1 – Rahmen bis 30 m Stützweite

Die Autobahn wird mit dem Brückenbauwerk über einen vorhandenen Straßenverkehrsweg überführt.

Bautechnologisch ist vorgesehen, den Rahmen in Form von zwei unabhängigen Teilbauwerken je Richtungsfahrbahn zu erneuern. Dabei werden die jeweiligen Teilbauwerke seitlich neben dem Brückenbauwerk vorgefertigt und während einer bauzeitlichen Verkehrsführung auf einem Teilbauwerk eingeschoben. Die Fertigung und der Verschluss der beiden Teilbauwerke erfolgen jeweils nacheinander.

6.2.2 Bodenverhältnisse, Gründung

Für den Referenzfall wird davon ausgegangen, dass im Gründungsbereich tragfähige Baugrundschiehtungen vorhanden sind, auf welchen das Brückenbauwerk flach gegründet werden kann. Auch der Grundwasserleiter befindet sich unterhalb der geplanten Gründungsebene, sodass sich Wasserhaltungsmaßnahmen auf das während der Bau-durchführung zulaufende Oberflächenwasser beschränken und keine zusätzlichen Maßnahmen ergriffen werden müssen.

Das Brückenbauwerk wird auf einem 50 cm mächtigen Unterbeton ca. 2,50 m unter der vorhandenen Geländeoberkante flach gegründet. Der Bodenaustausch mittels Beton wird vorgesehen, um eine setzungsarme Aufstandsfläche für das eingeschobene Bauwerk zu erhalten. Auch im Vorfertigungsbereich

und im Bereich der Verschiebbahn wird der Unterbeton ausgeführt, um gleiche Verhältnisse herzustellen und Setzungen unter der Verschiebbahn möglichst zu vermeiden. Das Fundament selber wird in Stahlbetonbauweise mit einer Dicke von 1,80 m errichtet. Es soll Ortbeton der Druckfestigkeitsklasse C30/37 mit den Expositionsklassen XC2, XD1 und XF2 und Bewehrungsstahl B 500 B verwendet werden. An der Vorderseite des Fundamentes sind Stahlbetonkonsolen ausgebildet. Diese dienen bauzeitlich als Ansatzpunkt für die, für den Verschiebvorgang vorgesehenen Lastmodule (vgl. Bild 6-2).

6.2.3 Unterbauten

Widerlager

Das Widerlager wird in Form eines Kastenwiderlagers in Stahlbetonbauweise errichtet. Die Widerlager beider Teilbauwerke sind im Bereich der Mittelkappe durch eine Raumfuge getrennt geplant. Als Fugenkonstruktion wird dafür ein Klemmfugenband ausgeführt, was nach dem Einschub des letzten Teilbauwerkes montiert wird. Dabei haben die Widerlager der Teilbauwerke nur auf der Außenseite der Richtungsfahrbahn einen Parallelfügel. Zur Absicherung der Bauzustände wird an dem Widerlager des ersten Teilbauwerkes im Mittelstreifenbereich ein Hilfsflügel angeordnet. Dies ermöglicht, dass der Mittellängsverbau ohne Zu-

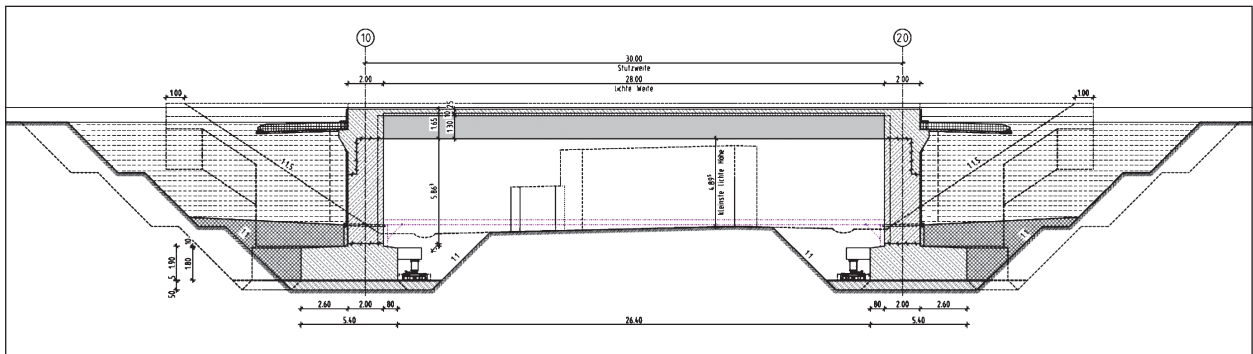


Bild 6-2: Längsschnitt Bauwerk 1

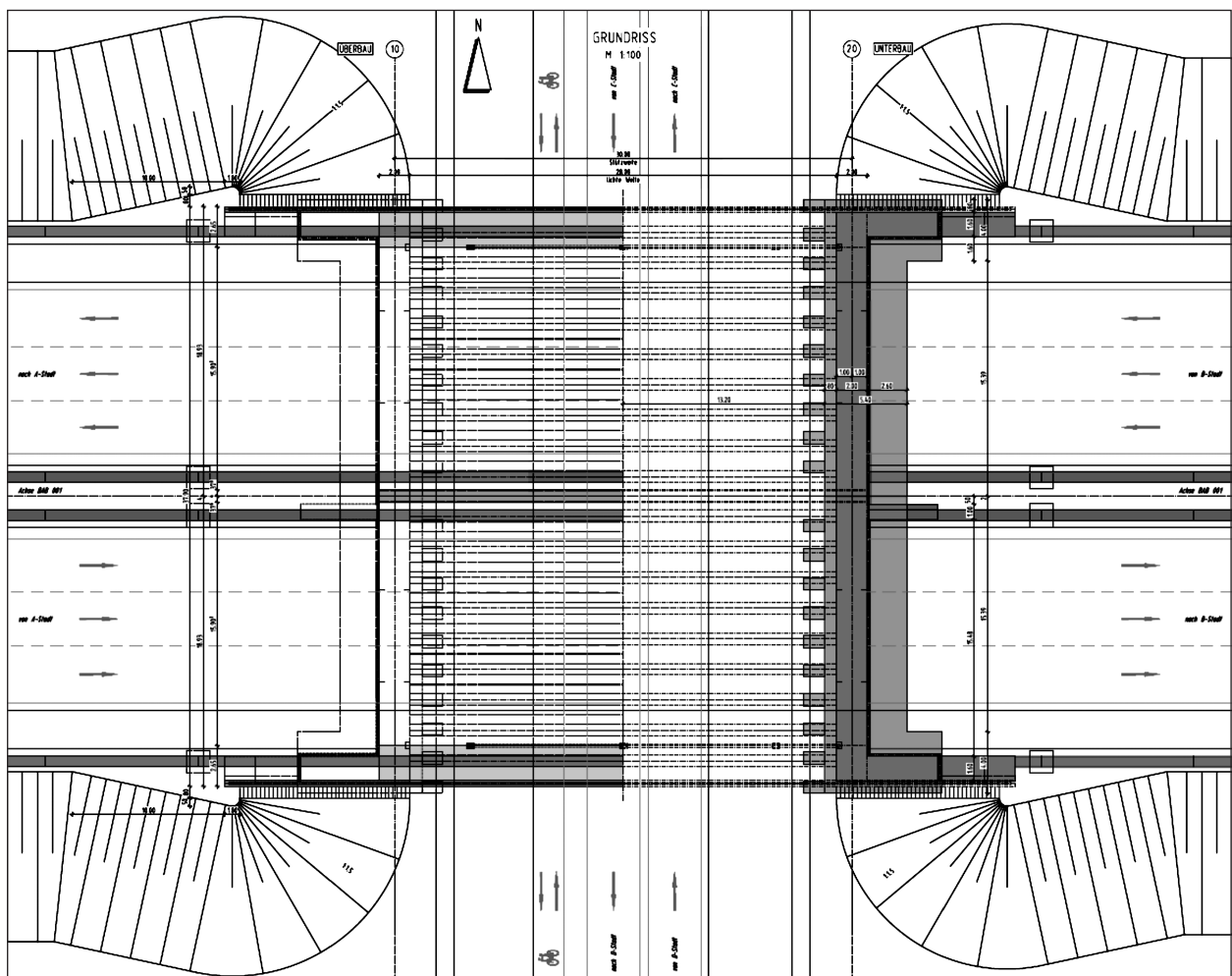


Bild 6-3: Grundriss Überbau und Unterbau Bauwerk 1

satzmaßnahmen an das zuerst errichtete Teilbauwerk angeschlossen werden kann. Auf der Rückseite der Widerlager wird eine Auflagerkonsole für die notwendige Schleppplatte ausgebildet. Die als Fertigteil hergestellte Schleppplatte wird nach Herstellung der Hinterfüllung aufgelegt und mittels einer Ankerstange mit dem Widerlager verbunden. Über die gesamte Höhe des Widerlagers wird eine einheitliche Konstruktionsdicke von 2,00 m herge-

stellt. Dies ist einerseits eine einfach herzustellende Schalungsform und andererseits kann die Rahmeneckbewehrung ohne komplizierte Biegeformen eingebaut werden. Die jeweilige Breite der Widerlager der Teilbauwerke erfordern, dass zwei Scheinfugen vorgesehen werden. Diese enden jeweils 1 m unter der Überbauunterkante, um eine auch in Querrichtung durchgehende Rahmenecke auszubilden.

Für das Widerlager werden ein Beton der Betondruckfestigkeitsklasse C 30/37 mit den Expositionsklassen XC4, XD2 und XF2 und Bewehrungsstahl B 500 B vorgesehen.

Die Flügel sind als Flügel ohne Kappe in Anlehnung an die Richtzeichnung Flü 2, Bild 2 [12] mit einer Wanddicke von 1,60 m ausgebildet.

6.2.4 Überbau

Tragkonstruktion

Der Überbau wird als mehrstegiger Spannbetonplattenbalken ausgebildet. Um den Schalungsaufwand vor Ort zu reduzieren und auf ein Traggerüst weitgehend verzichten zu können, sowie den Baufortschritt zu beschleunigen, werden Spannbetonfertigteile verwendet. Auch die Verkehrseinschränkungen auf den unterliegenden Verkehrsweg können damit deutlich reduziert werden.

Für ein Teilbauwerk werden neun Spannbetonplattenbalken-Fertigteile benötigt. Diese haben jeweils eine Stegbreite von 75 cm und werden in einer Gesamtbreite von 2,00 m gefertigt. Die Randbalken im Außen- und Mittelstreifenbereich sind mit einer Breite von ca. 2,65 m und 2,25 m leicht breiter konstruiert. Der Steg ist 1,30 m hoch und es schließt sich ein Betongurt mit einer Dicke von 12 cm an. Die Randbalkenfertigteile sind mit einer Gesimsaufkantung ausgebildet, um die Bauart der Kappe 3.6.4 ausführen zu können. Der Betongurt des Fertigteils wird in diesem Bereich in der Gesimsstärke aufgekantet und auf die geplante Kappenhöhe betoniert. Verbunden werden die einzelnen Fertigteile über eine 25 cm mächtigen Ortbetonergänzung. Die Gesimsaufkan-

tung der Randträger dient gleichzeitig als seitliche Abschalung für die Ortbetonergänzung, sodass damit auch weitere Arbeitsschritte vor Ort eingespart werden können. Mit der Ortbetonergänzung wird gleichzeitig die Rahmenecke hergestellt. In der Schalungsform des Widerlagers ist auf der Widerlagerrückseite eine Aussparung vorgesehen, um die Rahmeneckbewehrung des Überbaus mit der Längsbewehrung des Widerlagers verbinden zu können.

Die Spannbetonplattenbalken werden in einer Betondruckfestigkeitsklasse C 40/50 mit den Expositionsklassen XC4, XD1, XF2 ausgeführt. Abweichend dazu wird die Gesimsaufkantung in den Expositionsklassen XC4, XD3, XF4 ausgeführt. Die Ortbetonergänzung wird mit den gleichen Expositionsklassen jedoch in der Betondruckfestigkeitsklasse C 35/45 ausgebildet. Als schlaaffe Bewehrung wird Betonstahl B 500 B vorgesehen. Im Bereich der Gesimsaufkantung wird Bewehrungsstahl mit einem hohem Korrosionswiderstand der Werkstoffnummer 1.4003 verwendet, um die Dauerhaftigkeit der Konstruktion sicherzustellen. Die Vorspannung der Fertigteile wird durch parabolisch angeordnete Spannlieder im nachträglichen Verbund hergestellt.

Lager, Gelenke

Durch Ausbildung einer Rahmenecke zwischen den Unter- und Überbauten kann auf die Ausbildung von Lagern und Gelenken verzichtet werden.

Fahrbahnkonstruktion

Aufgrund der Länge des integralen Bauwerkes und der Bautechnologie in Form des Querverschubes

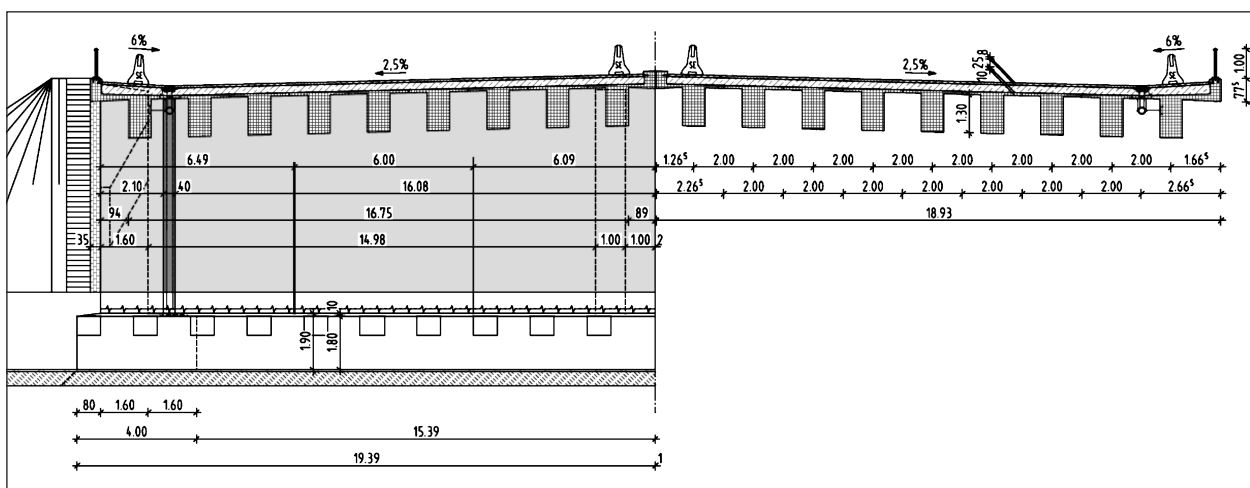


Bild 6-4: Widerlageransicht/Regelquerschnitt Bauwerk 1

wird die Anordnung einer Schleppplatte notwendig. Damit können einerseits Längenänderungen des Überbaus gegenüber der Hinterfüllung gut ausgeglichen und andererseits Setzungen im Hinterfüllbereich verdeckt werden. Bei der vorliegenden Stützweite von 30 m wird eine Schleppplatte gemäß Richtzeichnung Int 1 Blatt 2, Typ II [12] und im Übergangsbereich der Rahmenecke zur Hinterfüllung die Anordnung eines bituminösen Fahrbahnübergangs nach ZTV-ING [14] erforderlich.

Abdichtung, Belag

Auf dem Überbau wird eine Abdichtung und ein Belag nach ZTV-ING 7-1 [14] und Richtzeichnung Dicht 3 [12] ausgeführt. Die Abdichtung wird seitlich bis an das Gesims herangeführt.

Die Verfüllung der Längsfuge zwischen der Gesimsaufkantung und der Fahrbahn wird mit Polymerbitumen (40 – 60 mm) ausgeführt, um einen dauerhaft dichten Abschluss zu erhalten, jedoch auf Klemmkonstruktionen verzichten zu können. Eine ähnliche Randausbildung ist in den Richtzeichnungen des Schweizer Bundesamtes für Straßen [19] enthalten.

Es ist jedoch auch möglich eine Klemmkonstruktion in Form einer Flachstahlkonstruktion oder eines Winkels, ausgeführt in nicht rostenden Stahl, in das Fertigteil mit einzubauen, an dem die Abdichtung

angeklemt wird. Der Längsfugenbereich würde bei dieser Variante nach dem Herstellen des Brückenbelages in Anlehnung an die Richtzeichnung Dicht 9 [12] vergossen werden.

6.2.5 Entwässerung

Überbau

Der Überbau wird durch ein Quergefälle von 2,5 % zum Fahrbahnrand hin entwässert. Da die Autobahn in dem betreffenden Bereich in einem Dachprofil ausgebildet wurde, ist das Quergefälle zum jeweils äußeren Brückenrand hin geneigt. Im Randbereich wird das Oberflächenwasser von drei Brückenabläufen aufgenommen. Neben dem Quergefälle stellt die Längsneigung des Überbaus sicher, dass das Wasser den Abläufen zugeführt wird. Die Ausbildung der Entwässerung im Bereich der Schutzeinrichtungen ist im Kapitel 3.6.4 erläutert. Die Brückenabläufe werden seitlich in eine zwischen den ersten beiden Plattenbalkenstegen angeordnete Sammelleitung zugeführt. Diese ist über eine Rohraufhängung gemäß Richtzeichnung Was 13 [12] an der Überbauunterseite befestigt. Am westlichen Widerlager der Teilbauwerke wird die Sammelleitung nach Richtzeichnung Was 5 [12] herabgeführt und an die bestehende Vorflut angeschlossen.

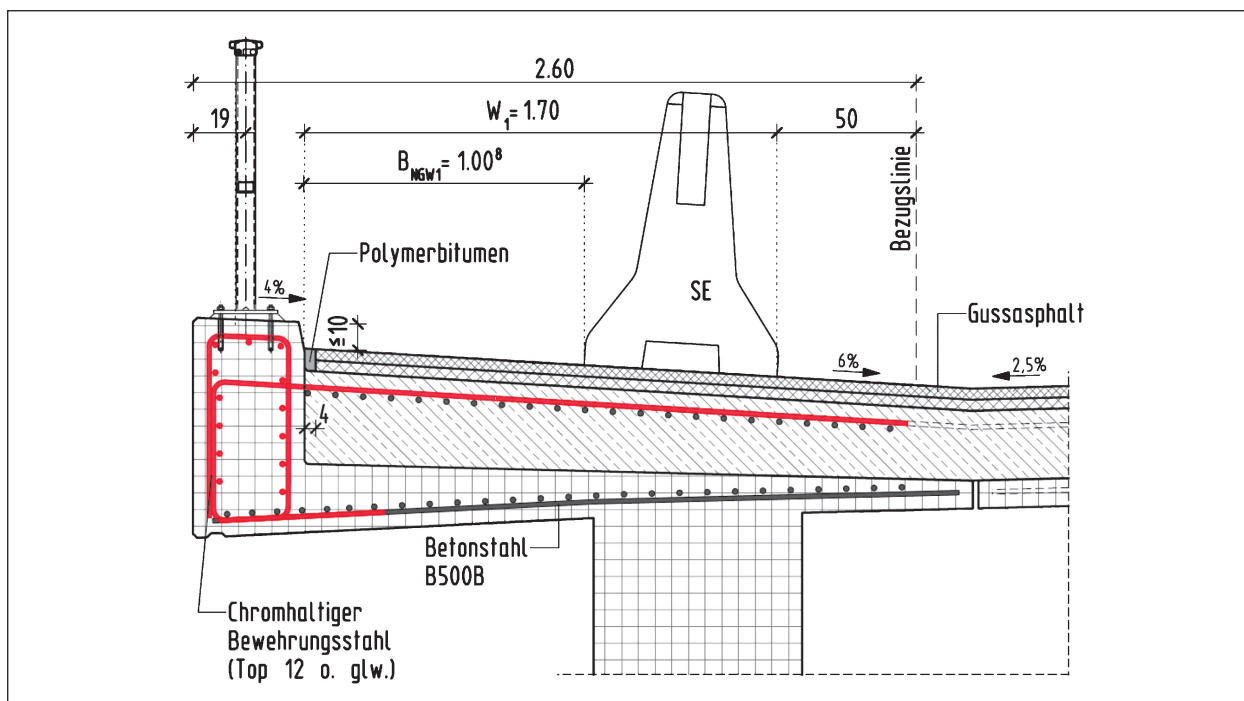


Bild 6-5: Detail – Randausbildung (Außenkappe)

Unterbau

Die Ausbildung der Hinterfüllung erfolgt gemäß Richtzeichnung Was 7 [12]. Das über den Entwässerungsbereich dem Grundrohr zugeschlagene Sickerwasser wird mittels Rohrdurchführung durch das Widerlager hindurchgeführt und in eine vor dem Widerlager vorhandene Entwässerungsmulde abgeschlagen.

6.2.6 Rückhaltesysteme, Schutzeinrichtungen

Entsprechend der RPS 2009 [21] werden Schutzeinrichtungen der Aufhaltestufen H2 beziehungsweise H4b entsprechend der vorliegenden Gefährdungsstufe erforderlich.

Die Schutzeinrichtung wird im vorliegenden Fall in Verbindung mit der Variante der Gesimsaufkantung gemäß Kapitel 3.6.4 in Form einer vorgestellten Betonschutzwand ohne Verbund zum Brückenbauwerk ausgeführt. Dafür werden Systeme der Strecke verwendet. Für die Betonschutzwand sind am Markt verschiedene Modelle verfügbar. In diesem Fall wurde die Aufhaltestufe H4b betrachtet. Es besitzen alle zertifizierten Systeme eine Wirkungsbereichsklasse W5. Die Standard Kappenbreite von 2,05 m gemäß Richtzeichnung [12] ermöglicht jedoch nur die Anordnung einer Schutzeinrichtung mit der festgestellten Wirkungsbereichsklasse W4. Um im vorliegenden Fall eine vorschriftenkonforme Positionierung zu erreichen, wird die Kappenbreite der Randkappe gegenüber der Richtzeichnung [12] um 40 cm auf > 2,58 m vergrößert werden. Damit kann die Schutzeinrichtung in einem Abstand von 50 cm zur Bezugslinie aufgestellt und ein Notgehweg mit einer Breite größer 75 cm zwischen Schutzeinrichtung und Gelän-

der ausgebildet werden. Der Wirkungsbereich der Schutzeinrichtung endet an der Aufkantung des Gesims, sodass eine Mitwirkung der Aufkantung und des Geländers ausgeschlossen ist. Im Mittelkappenbereich wird die Betonschutzwand in einem Abstand von 50 cm von der Bezugslinie positioniert. Der Wirkungsbereich erstreckt sich bis auf das nebenliegende Teilbauwerk. Dies ist möglich, da die Gesimsaufkantung die Fahrhahnoberkante nicht übersteigt und somit keine seitliche Barriere für die Schutzeinrichtung gemäß RPS [21] darstellt. Da der Anprall der Betonschutzwand an die Gesimsaufkantung trotz Einhaltung des Wirkungsbereiches nicht ausgeschlossen werden kann, ist diese für einen Fahrzeuganprall an den Schrammbord gemäß DIN EN 1991-2:2010-12 [23] zu bemessen. Um zu verhindern, dass die Betonschutzwand durch Schwingungen des Brückenüberbaus verrückt wird, erfolgt die konstruktive Lagesicherung durch Einbau von Rundstählen in den Fahrhahnbetrag. Die Sicherungselemente werden vor der Schutzeinrichtung eingebracht und reichen bis zur Schutzschicht. Die Überbauabdichtung wird dabei nicht durchdrungen.

Weitere Hinweise bezüglich der zu beachtenden Einwirkungen aus der Schutzeinrichtung sind im letzten Absatz Kapitel 3.6.4 aufgeführt.

Die Betonschutzwand erstreckt sich auf dem Brückenbauwerk bis ca. 5 m hinter dem Überbau, beziehungsweise dem Flügelende. In diesem Bereich wird diese in einem Einzelfundament aus Stahlbeton verankert. Es schließt sich ein Übergangselement an, an dem beispielsweise Stahlschutzeinrichtungen angeschlossen werden können.

Auf das Gesims am äußeren Fahrhahnrand wird ein 1,00 m hohes Holmgeländer aufgebaut.

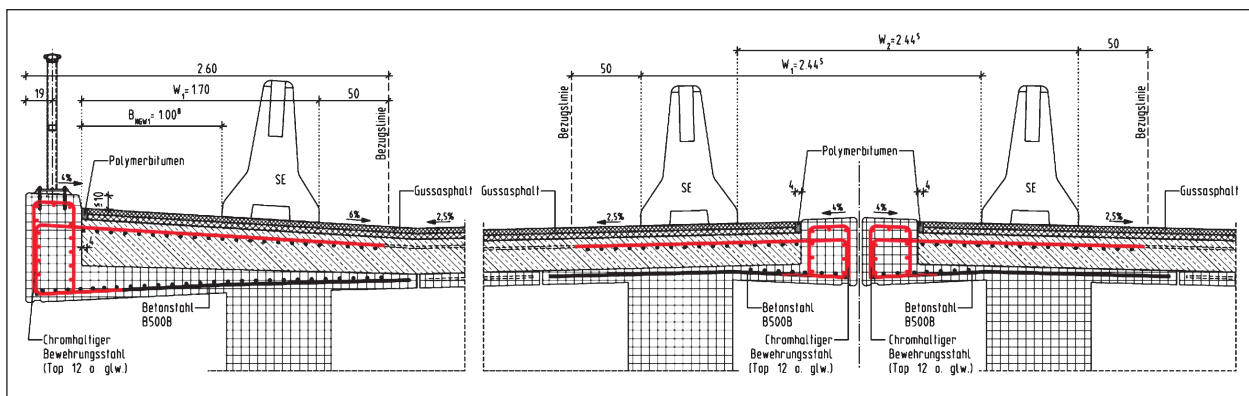


Bild 6-6: Detail – Randausbildung (Außenkappe und Mittelkappe)

6.2.7 Zugänglichkeit der Konstruktionsteile

An den Seitenflächen der Flügel ist jeweils eine Böschungstreppe nach Richtzeichnung Bösch 1 [12] angeordnet, welche die Zugänglichkeit der Widerlager von der Autobahn aus gewährleistet.

6.2.8 Herstellung Bauzeit

Bauablauf, Bauzeit

Neben der innovativen Ausbildung ohne Kappe ist das Bauverfahren zur Errichtung des Brückenbauwerkes ein wichtiger Ansatz, welcher zum Erreichen des Projektzieles erheblich beiträgt. Die jeweiligen Teilbauwerke werden seitlich neben der bestehenden Autobahn vorgefertigt und in einer kürzeren Sperrung der Richtungsfahrbahn des jeweiligen Teilbauwerkes mittels Fluidtechnik (siehe Kapitel 4.2.2) in Endlage verschoben. Die Errichtung des Brückenbauwerkes unterteilt sich in vier Bauzustände, welche nachfolgend beschrieben werden.

Bauzustand 1 – seitliche Vorfertigung des südlichen Teilbauwerkes

Im ersten Bauzustand wird das Teilbauwerk neben der südlichen Richtungsfahrbahn vorgefertigt. Zum Andienen der Baustelle wird der unterführte Straßenverkehrsweg genutzt. Die Herstellung der Widerlager erfolgt nacheinander und ohne den unterführten Verkehrsweg zu beeinflussen. Nachdem diese fertiggestellt sind, werden die im Fertigteilwerk vorgefertigten Spannbetonfertigteilträger angeliefert und montiert. Hierfür ist die Sperrung des unterführten Verkehrsweges notwendig. Die Spannbetonfertigteilträger werden auf, vor den Widerlager aufgestellten, Traggerüststützen mit Jochträgern verlegt. Nach Ergänzung der oberen Bewehrungslage und der Rahmeneckbewehrung erfolgt die Betonage der Ortbetonergänzung. Damit sind die Widerlager und der Überbau als integrales Bauwerk miteinander verbunden. Die separate Herstellung der Kappe einschließlich Aufbau eines Traggerüstes entfällt, da diese im Überbau integriert ist. Damit kann eine weitere Verkehrseinschränkung des unterführten Verkehrsweges vermieden werden.

Nach einer Austrocknungsphase wird die Abdichtung auf dem Überbau aufgebracht.

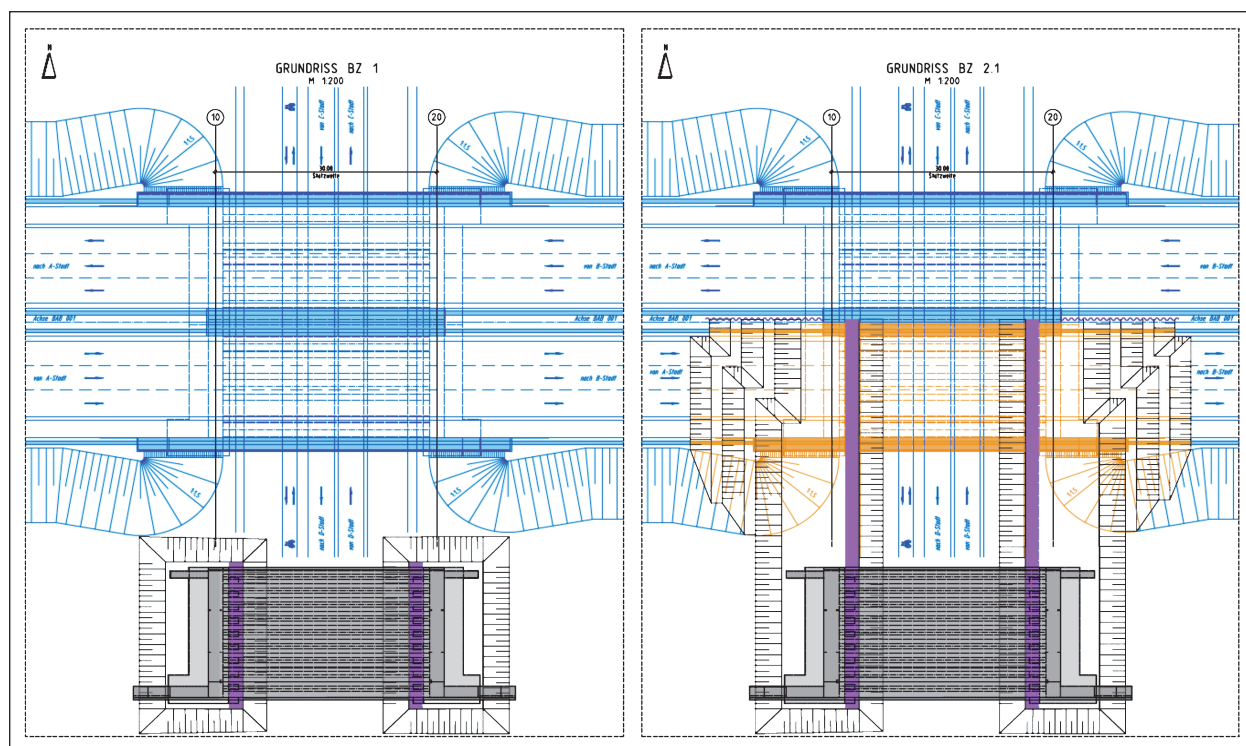


Bild 6-7: Vorfertigung südliches Teilbauwerk

In Vorbereitung des nächsten Bauzustandes werden im Bauwerksbereich die Verschubbahnen aufgebaut.

Bauzustand 2 – Einbau des südlichen Teilbauwerkes

Im ersten Schritt wird die bauzeitliche Verkehrsführung eingerichtet, um Baufreiheit zum Einbau des ersten Teilbauwerkes zu erlangen. Dazu werden entsprechende Mittelstreifenüberfahrten hergestellt und beide Richtungsfahrbahnen auf der nördlichen Fahrbahn gebündelt. Wie dies geschehen soll, ist in Kapitel 5.1.2 dargestellt. Nachdem der Verkehr umverlegt wurde, werden die Bestandsfahrbahn und das Bestandsbauwerk rückgebaut. Bei der vorliegenden Konzeptbearbeitung wird davon ausgegangen, dass es sich beim Bestandsbauwerk um ein zweiteiliges Bauwerk handelt und damit aufwendige Rückbauzustände ausgeschlossen werden können. Gleichzeitig entsteht die Baugrube für das neue Bauwerk. Um die nebenliegende Richtungsfahrbahn weiterhin ohne Einschränkung benutzen zu können, wird zwischen den Fahrbahnen ein Mittellängsverbau mit Rückverankerungen errichtet. Für den Rückbauzustand ist die unterführte Straße vollständig zu

sperren. Nachdem die Baugrube ausgehoben wurde, erfolgt die Herstellung des Bodenaustausches mit Beton.

Beginnend von der Vorfertigungsfläche werden die Verschubbahnen auf den Unterbeton verlegt und ausgerichtet und die Lastmodule aufgebaut. Zum Verschieben des Bauwerkes werden je Widerlager zehn Lastmodule benötigt, um die Gewichte bewegen zu können. Gleichzeitig werden die Widerlagerwände gegeneinander ausgesteift, um Verformungen während des Schubvorganges zu verhindern. Nach den vorbereitenden Arbeiten wird das Bauwerk eingeschoben und in Endlage positioniert. Mit den Lastmodulen können auch entsprechende Korrekturen in der Höhe vorgenommen werden, um die Lagegenauigkeit sicherzustellen. Abgesetzt wird das Bauwerk in eine ca. 5 cm mächtige Montageschicht aus Splitt. Durch die Lage der Verschiebekonsolen vor dem eigentlichen Bauwerksfundament, steht das Bauwerk nach dem Absetzen flächig auf. Fehlstellen in der Montageschicht können damit ausgeschlossen werden und ein aufwendiger und fehleranfälliger Verguss ist nicht notwendig. Nach dem Rückbau der Verschiebetechnik und der dafür notwendigen Baubehelfe erfolgt der Aufbau der Hinterfüllung und Entwässerung. Mit der Hinterfüllung wird auch die Schleppplatte ver-

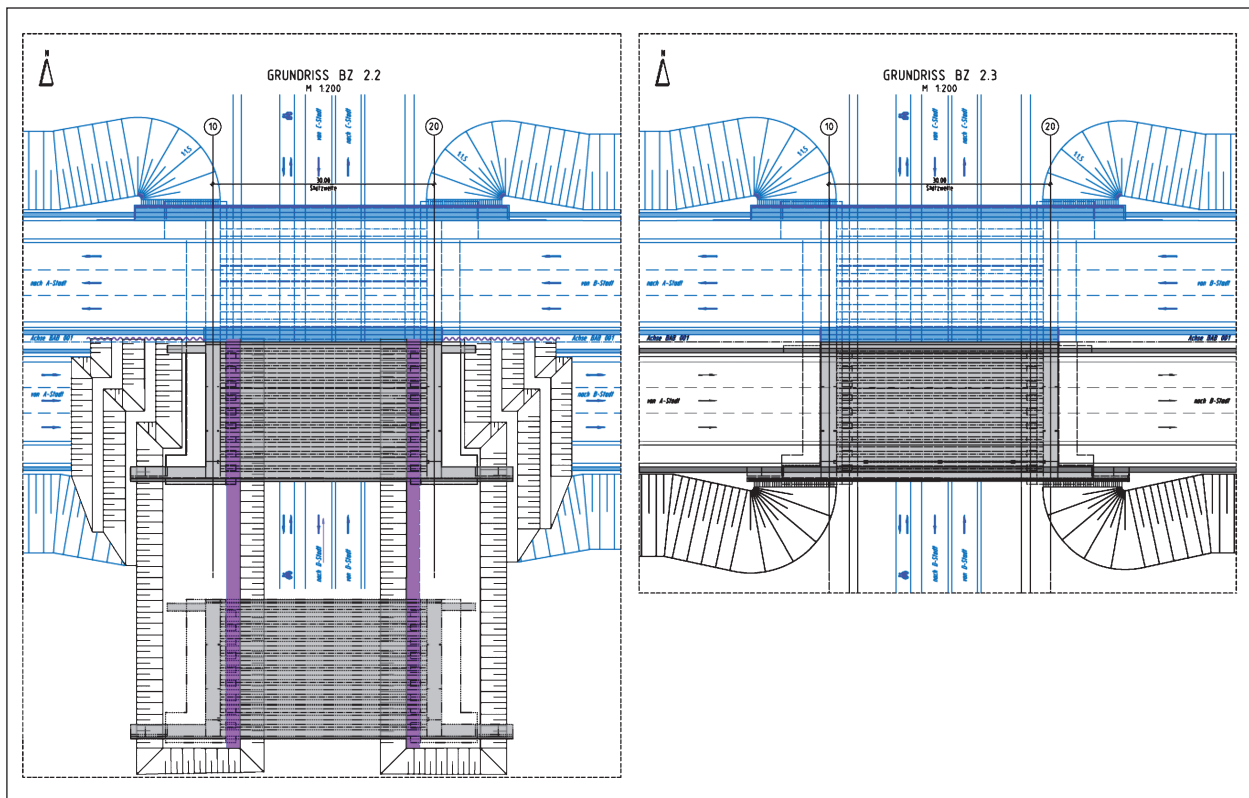


Bild 6-8: Aufbau südliches Teilbauwerk

legt. In einem letzten Schritt wird noch die Fahrbahn auf dem Brückenbauwerk und im Anschlussbereich hergestellt und das Geländer sowie die Schutzeinrichtungen aufgebaut. Das Einzelfundament zum Verankern der Betonschutzwand wird mit dem Aufbau der Hinterfüllung in Fertigteilform mit versetzt.

Anschließend kann die bauzeitliche Verkehrsführung aufgehoben und die Richtungsfahrbahn wieder in die eigentliche Lage rückverlegt werden.

Bauzustand 3 – seitliche Vorfertigung des nördlichen Teilbauwerkes

Die Schritte der Vorfertigung des nördlichen Teilbauwerkes sind mit denen der Vorfertigung des südlichen Teilbauwerkes identisch. Eine weitere Beschreibung ist daher entbehrlich (siehe Bild 6-9).

Bauzustand 4 – Einbau des nördlichen Teilbauwerkes

Gleiches wie für den Bauzustand 3 gilt auch für den Bauzustand 4. Zu beachten ist hierbei nur, dass der Mittellängsverbau bei der Baugrubenherstellung entsprechend umgebaut und an den Hilfsflügel des südlichen neuen Teilbauwerkes angeschlossen werden muss (siehe Bild 6-10).

Erzielbare Vorteile hinsichtlich Bauzeit und Verkehrseinschränkung

Auf Grundlage der in Kapitel 5.1 dargestellten Grobbauabläufe und in Anlage 2 hinterlegten Datenbank zur Berechnung der Grobbauabläufe wurde die Bauzeit für diesen konkreten Fall ermittelt. Mit dieser Variante bleibt die Gesamtbauzeit gegenüber dem herkömmlichen Vorgehen fast unverändert. Die Bauzeit mit Verkehrseinschränkungen wird hingegen um 39 Wochen reduziert werden. Die Verkehrseinschränkungen können damit um 66 Prozent reduziert werden (siehe Bild 6-11). Die Variante wird damit den Anforderungen der Aufgabenstellung gerecht.

6.2.9 Baukostenschätzung und Kostenvergleich zwischen Standard- und innovativen Vorgehen

Für die Errichtung des Rahmenbauwerkes werden für die herkömmliche Bauweise Baukosten in Höhe von 7.499 T€ abgeschätzt. Bei der Errichtung des Bauwerkes entsprechend der vorgestellten innovativen Bauweise wird von Baukosten in Höhe von 8.632 T€ ausgegangen (siehe Bild 6-12). Damit ist die Errichtung des Bauwerkes in innovativer Bauweise bei alleiniger Betrachtung der Baukosten um ca. 15 % teurer gegenüber dem herkömmlichen Ansatz. Die Baukostensteigerung ist in diesem Fall auf

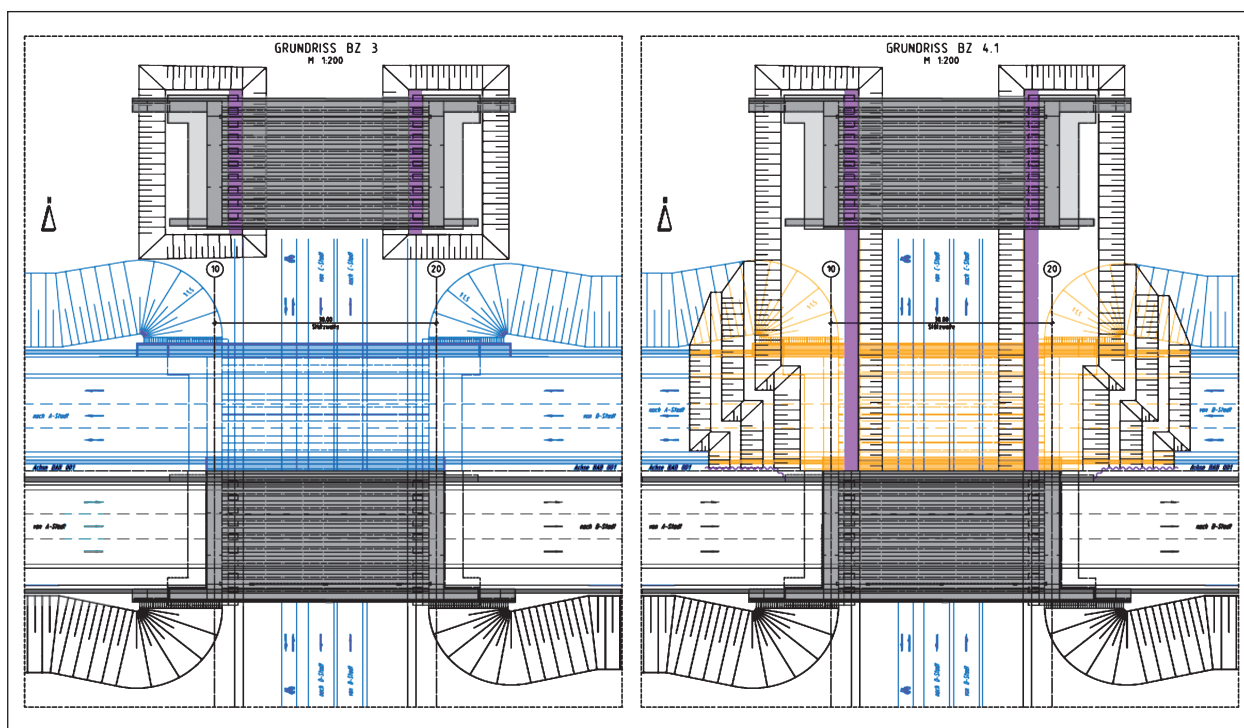


Bild 6-9: Vorfertigung nördliches Teilbauwerk

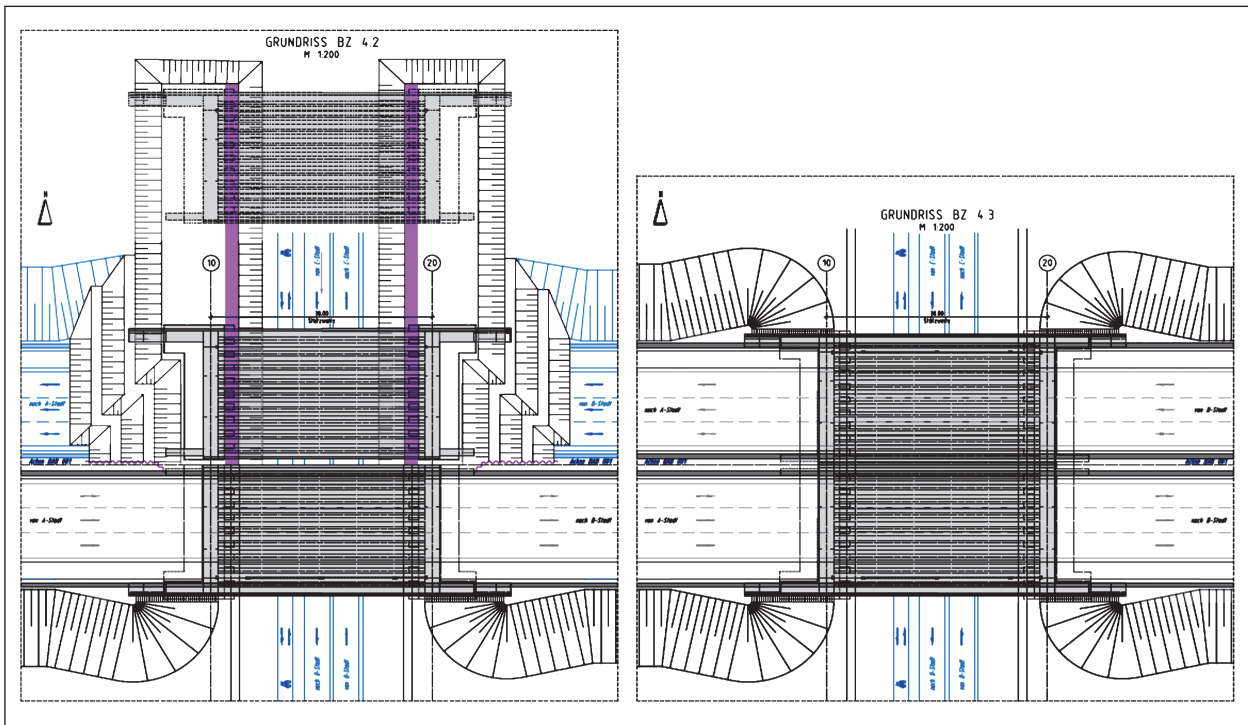


Bild 6-10: Aufbau nördliches Teilbauwerk

	Rahmen 15 m - 30 m	
	konserv.	Innovativ
Bauausführung 1. Richtungsfahrbahn		
Vorfertigung in Seitenlage einschl. 4 Wochen für das Herstellen der Baustellenzufahrt und Vorfertigungsflächen		20,5
Mittelstreifenüberfahrt, BE, Verbau, Rückbau, Baugrube		4
Herstellung der Unterbauten in Endlage	11,5	0,5
Herstellung der Überbauten in Endlage	9	0,5
Hinterfüllung, Entwässerung, ggf. Schleppplatte, Brückenausstattung, Fahrbahn, BE räumen, Verkehrsführung aufheben		5
Summe der Bauzeit unter Sperrung der Richtungsfahrbahn	30	10
Zeiteinsparung Sperrung je Richtungsfahrbahn in Wochen		19,50
Zeiteinsparung Sperrung je Richtungsfahrbahn in Prozent		66 %
Gesamtbauzeit je Richtungsfahrbahn	42	43
Gesamtbauzeit je Richtungsfahrbahn in Prozent	100 %	102 %
Bauzeit gesamtes Bauwerk (Die Ausführungsplanung des 2. Teilbauwerkes läuft dabei parallel zur Ausführung des 1. Teilbauwerkes)	71	73
Sperrung Richtungsfahrbahn	30	10
Sperrung Gegenrichtungsfahrbahn	30	10
Sperrung Gesamt	59	20
Reduktion der Sperrung der Autobahn in Wochen		39,0
Reduktion der Sperrung in Prozent		66 %

Bild 6-11: Bauzeit und Verkehrseinschränkung Bauwerk 1

Kostenschätzung Ingenieurbau	Bauwerk 1 Rahmenbauwerk (bis 30m)			
	herkömmliche Bauweise		neue Bauweise	
	Länge	32 m	Länge	32 m
	Breite	37,1 m	Breite	37,9 m
Inhalt	Kosten [T€]		Kosten [T€]	
1 Baufeldfreimachung	49		49	
2 Baugruben, Wasserhaltung, Hinterfüllung	847		1.199	
3 Baugrubensicherung, Vershub	133		393	
4 Gerüste, Abbruch	568		524	
5 Beton, Stahlbeton, Spannbeton	2.503		2.585	
6 Entwässerung	24		26	
7 Stahlbau, Lager, ÜKO, SE, Geländer	98		99	
8 Oberflächen- und Korrosionsschutz, Abdichtung, Deckschicht	411		482	
9 Sonstige Bauleistungen	28		28	
10 Baustelleneinrichtung	466		539	
11 Verkehrssicherung	100		100	
12 Sonstige Baunebenkosten	190		212	
13 Technische Bearbeitung (AG und AN)	699		808	
Summe	6.118		7.042	
3% Kleinleistg.	184		211	
Baukosten (netto)	6.302		7.254	
19% MWSt	1.197		1.378	
Baukosten (brutto)	7.499		8.632	
Fläche [m²]	1.187		1.213	
Baukosten, netto, abzügl. Techn. Bearbeitung	5.419		6.446	
Baukosten, netto / Bauwerksfläche [€/m²]	4.600		5.300	

Bild 6-12: Kostenschätzung Bauwerk 1 Rahmenbauwerk

die seitliche Vorfertigung und die Anwendung der Vershubtechnologie zurückzuführen. Da mit dem neuen Ansatz die Sperrung der Autobahn jedoch um über 60 % reduziert werden konnte, wird die Kostensteigerung als vergleichsweise gering eingeschätzt.

Die ausführliche Darstellung der Kostenberechnung ist in Anlage 5 hinterlegt.

6.2.10 Abweichungen zum Regelwerk

Die Variante ohne Kappen ist in der Form im Regelwerk noch nicht enthalten, weicht jedoch hinsichtlich der verwendeten Komponenten nicht vom Regelwerk ab. Eine Abweichung besteht zur RE-ING – Teil 2 Abschnitt 1.1 Abschnitt (6) [3]. Darin enthalten ist, dass die Kappe in Ortbeton zu planen ist. Das ist hier nicht der Fall, da das Gesims im Fertigteile integriert ist und auf die Kappe verzichtet wird. Die vor-

gesehene Art der Betonschutzwand ist für den Anwendungsfall Brücke noch nicht abschließend geklärt. Hier ist im Ausführungsfalle gegebenenfalls die Zustimmung im Einzelfall einzuholen.

6.2.11 Bewertung des Realisierungskonzeptes

Mit dem Realisierungskonzept wurde erreicht, dass durch Anwendung der seitlichen Vorfertigung die Bauzeit mit Verkehrseinschränkungen erheblich verringert werden konnte. Gleichzeitig sind die dafür notwendigen monetären Aufwendungen vergleichsweise überschaubar. Zu beachten ist bei dieser Art der baulichen Errichtung, dass die örtlichen Verhältnisse die seitliche Vorfertigung der Bauwerke zulassen müssen. In Gebieten mit dichter Bebauung kann es möglich sein, dass die seitliche Vorfertigung von Bauwerken aus Platzgründen

nicht möglich ist. Ebenso können an die Straße angrenzende Schutzgebiete mit Verbotstatbeständen zur Verweh rung der Anwendung dieses Bauverfahrens führen. Bei Bauwerken in entlegenen Gebieten können Aufwendungen für die notwendige Baustellenzuwegung hinzukommen, welche den Kostenunterschied zur herkömmlichen Bauweise noch vergrößern würden. Weiterhin ist zu beachten, dass durch die seitliche Vorfertigung die Verkehrseinschränkungen des überführten Verkehrsweges zwar reduziert werden können, die Beeinträchtigungen möglicher unterführter Verkehrswege bleiben damit jedoch unverändert erhalten. Mit dem vorgestellten Konzept werden durch die Verwendung der Spannbetonfertigteilträger für den Überbau sowie den Entfall der Aufwendung für die Errichtung der Kappe, durch Anwendung der Bauweise der Gesimsaufkantung mit vorgestellter Beton schutzwand, auch Maßnahmen ergriffen, um die Einschränkungen auf unterführte Verkehrswege zu reduzieren.

Da mit dem Konzept keine unerprobten Bauverfahren zur Anwendung kommen, sind die Risiken gegenüber der herkömmlichen Bauweise nicht größer. Der sofortigen Anwendbarkeit des vorgesehenen Bauverfahrens steht damit nichts im Wege.

Eine Ausnahme stellt die Ausbildung des Randbereiches dar. Dieser Lösungsansatz sollte zuerst in einem Pilotprojekt realisiert werden, um praktische Erfahrungen mit der Bauweise zu sammeln und die Überführung in eine Standardbauweise vorzubereiten.

6.3 Bauwerk 2 – Einfeldsystem mit einer Gesamtlänge von 10 m – 30 m

6.3.1 Allgemeine Objektbeschreibung

Im Brückenbereich verläuft die Trasse der Autobahn in einer Geraden. Das Längsgefälle ist für den Musterfall mit 0,5 % angenommen. Das Bauwerk ist als flach gegründetes Einfeldbauwerk mit einer Stützweite von 20 m geplant. Aus der durchgehend konstanten Konstruktionshöhe von 0,95 m des Überbaus resultiert eine Schlankheit von $20 \text{ m} / 0,95 \text{ m} = 21$.

Für die Autobahn wurde ein Querschnitt RQ 36 B der EKA 1 nach RAA – Richtlinie für die Anlage von Autobahnen festgelegt. Der Abstand zwischen den Borden beträgt hierbei 14,50 m. Der Mittelstreifenbereich beträgt 4,00 m.

Die Autobahn wird mit dem Brückenbauwerk über einen vorhandenen Straßenverkehrsweg überführt.

Bautechnologisch ist vorgesehen, das Einfeldbauwerk in Form von zwei unabhängigen Teilbauwerken je Richtungsfahrbahn zu erneuern. Dabei werden die jeweiligen Teilbauwerke in modularer Bauweise im Fertigteilverk vorgefertigt und während einer bauzeitlichen Verkehrsführung auf einem Teilbauwerk montiert. Die Montage der beiden Teilbauwerke erfolgt jeweils nacheinander, sodass die Autobahn immer verfügbar ist.

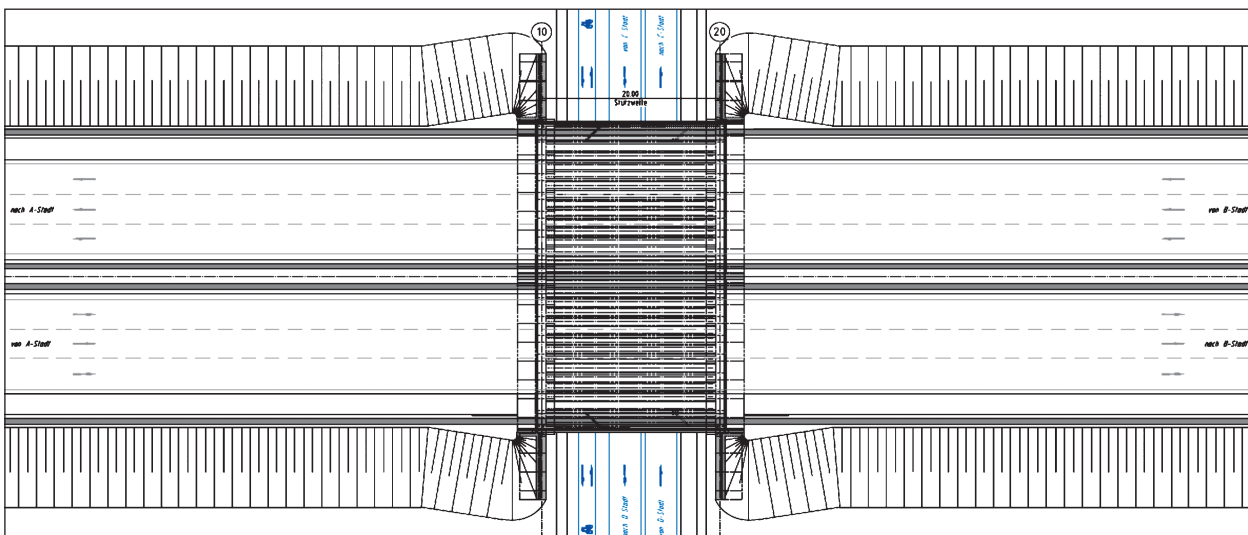


Bild 6-13: Grundriss Bauwerk 2 Einfeldsystem von 10 m – 30 m

wird in Form einer versetzten Pressfuge an das Randlelement des Widerlagers angeschlossen. Dadurch kann ein horizontal stützendes Auflager für den Flügel erreicht werden. Zwischen den beiden Teilbauwerken wird ein Mittelteil mit Hilfsflügel ausgebildet, um auch den Zwischenbauzustand abzudecken.

Über die gesamte Höhe des Widerlagers wird eine einheitliche Konstruktionsdicke von 1,00 m hergestellt.

Die einzelnen Widerlagerelemente werden in Form einer Pressfuge gestoßen. Um die bauzeitliche Montage abzusichern und ein seitliches Verkippen der Elemente zu verhindern, werden diese im oberen Bereich konstruktiv mittels eines Spannankers verbunden. Dieser Spannanker übernimmt keine Tragfunktion im Endzustand für den Endzustand des Brückenbauwerkes. Zum Einbau des Spannankers sind im Fertigteil entsprechende Taschen vorgesehen. Um ein unterschiedliches horizontales Verkippen der einzelnen Elemente zu verhindern, ist am Randbereich eines jeden Fertigteils vertikal eine trapezförmige Aussparung vorgesehen. Diese wird nach der Montage aller Elemente mit Beton verfüllt und fungiert somit als Mörtelschloss.

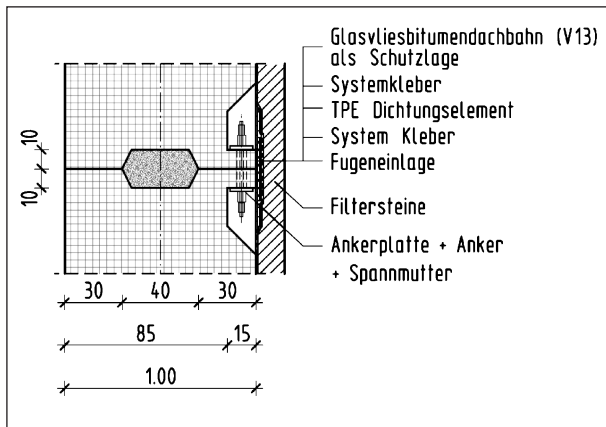


Bild 6-16: Detail – Fuge Widerlagerwände

An der Oberseite der Widerlagerwand sind entsprechende Bauteile für die Ausbildung des Betongelenkes vorgesehen. Die Konstruktion des Betongelenkes ist in Kapitel 6.3.4 unter „Lager, Gelenke“ beschrieben.

Für das Widerlager werden ein Beton der Betondruckfestigkeitsklasse C 40/50 mit den Expositionsklassen XC4, XD2 und XF2 und Bewehrungsstahl B 500 B vorgesehen.

6.3.4 Überbau

Tragkonstruktion

Der Überbau wird als Spannbetonplatte ausgebildet. Um den Schalungsaufwand vor Ort zu reduzieren und auf ein Traggerüst weitgehend verzichten zu können, sowie den Baufortschritt zu beschleunigen, wird die Überbauplatte modularisiert und durch vorgefertigte und als Trägerschar verlegte, quer gespannte Spannbetonträger ausgebildet.

Durch diese Art der Überbauerstellung können die Verkehrseinschränkungen auf den untenliegenden Verkehrsweg deutlich reduziert werden.

Für ein Teilbauwerk werden acht Spannbetonträger-Fertigteile benötigt. Diese werden jeweils in einer Elementbreite von 2,25 m für das Regelement gefertigt. Die Randbalken im Außen- und Mittelstreifenbereich sind mit einer Breite von ca. 2,92 m und 2,48 m etwas breiter konstruiert. Im Randbereich sind diese mit einem Kragarm ausgebildet. Die konstante Bauhöhe aller Elemente beträgt 0,95 m. Die Randbalkenfertigteile sind mit einer Gesimsaufkantung ausgebildet.

Um auf der einen Seite das Transportgewicht der Fertigteilträger zu verringern und auf der anderen Seite das Eigengewicht für den Bemessungslastfall des Endzustandes zu reduzieren, werden die Träger mit eingelegten Hohlkörpern ausgebildet. Diese

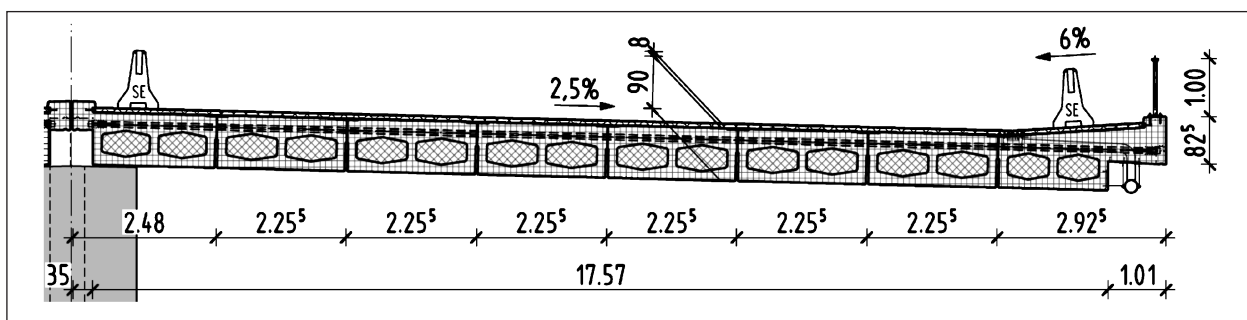


Bild 6-17: Überbauquerschnitt

werden über $0,7 \times L$ der Trägerlänge eingebaut. So entsteht in diesem Bereich im Querschnitt für den einzelnen Träger eine zweizellige Hohlkastenform.

Für die Ausbildung der Hohlkörper werden für diesen Anwendungsfall zwei Ausführungsvarianten angedacht.

Mit der ersten Variante werden die Hohlkörper als geschweißter Stahlquerschnitt in ovaler Form hergestellt. Der Stahlhohlkörper wird durch vier gekantete Bleche ausgebildet. Im Stoßbereich der Kanteile werden diese mit einer Längsnaht zusammengeschweißt. Abgeschlossen werden diese mit einem aufgeschweißten Blechdeckel. Die ovale Form wurde gewählt, um die Entlüftung des Betonagequerschnittes sicherzustellen und somit Fehlstellen zu vermeiden. Damit die Hohlkörper gegenüber eindringendem Wasser geschützt werden können, erfolgt die Dichtigkeitsprüfung der Nähte. Die Positionierung des Hohlkörpers im Bewehrungsquerschnitt

erfolgt durch entsprechende Montageeisen und Abstandhalter. Ebenso müssen die Hohlkörper während der Betonage mit einem von oben, an den Außenseiten der Schalung, fixierten Abstandhalter in der Lage gesichert werden, um auch ein Aufschwimmen zu verhindern. Um während des Vorspannens des Trägerelementes die ungewollte Krafteinleitung in den Stahlhohlkörper zu verhindern, wird dieser auf der Außenseite mit einer 3 mm dicken elastischen Masse in Form einer kunststoffmodifizierten Bitumendickbeschichtung umhüllt. Bei dieser Variante der Ausbildung des Hohlkörpers können Teilaspekte einer Schutzrechtsanmeldung gemäß Kapitel 10.1 betroffen sein.

Mit der zweiten Variante werden die Hohlkörper durch einlegen von Polystyrol-Hartschaumblöcken hergestellt. Diese Blöcke sind genau wie die Stahlrohre durch Montageeisen und Abstandhalter in der Lage zu sichern. Für diesen Fall ist Hartschaummaterial mit einer geschlossenen Struktur zu ver-

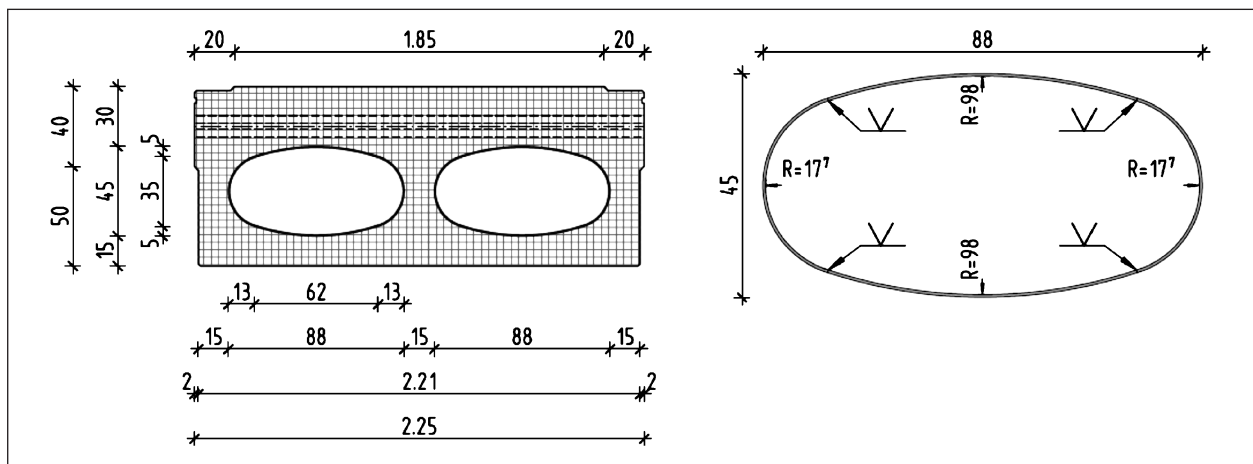


Bild 6-18: Details Variante 1 – Stahlquerschnitt Fertigteil mit Hohlkörpern

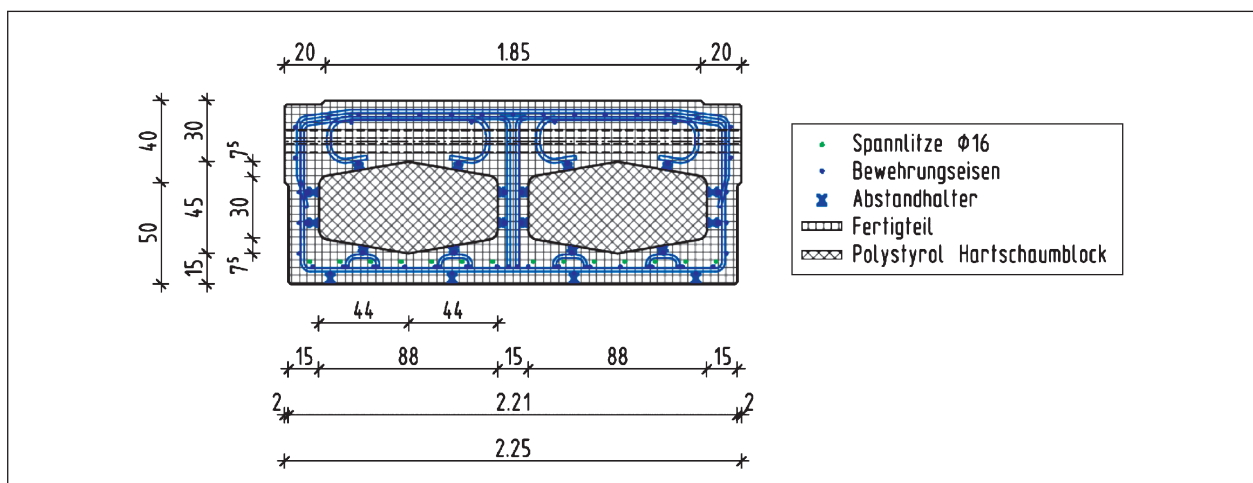


Bild 6-19: Details Variante 2 – Stahlquerschnitt Fertigteil mit Hohlkörpern durch Hartschaumblöcke

Statisch wird die Fuge durch die Quervorspannung dauerhaft überdrückt. Die Schubkraftübertragung erfolgt durch Reibung in der Fuge.

In einer wissenschaftlichen Untersuchung [35], für den Referenzfall wurde festgestellt, dass die Fuge durch die Quervorspannung auch unter Verkehrslast dauerhaft überdrückt ist und somit der Nachweis der Dekompression erfüllt wird (vgl. Bild 6-23). Die statische Betrachtung erfolgte an einem Volumenmodell (Bild 6-22).

Weiterhin wurde festgestellt, dass die Schubkraftübertragung im Fugenbereich unter alleinigem Ansatz der Reibung aus der Vorspannung der Fuge nachgewiesen werden konnte. Ein Aufräuen der Fugenoberfläche kann somit entfallen. Im Vergleich

der Nachweiszustände der Dekompression und Schubkraftübertragung im Fugenbereich war festzustellen, dass der Nachweis der Dekompression bestimmend für die Anzahl der notwendigen Spannglieder ist (Bild 6-23).

Die zweite Möglichkeit die Fuge herzustellen besteht darin, dass man die Fugestelle durch einen Mörtelverguss schließt (siehe Bild 6-24). Praktische Erfahrung in der Ausführung einer solchen Fuge wurde bei der Realisierung eines Rahmenbauwerkes L 518 Werne [36] gemacht. Vorteilhaft bei der Ausführung einer solchen Mörtelfuge ist, dass die Anforderung an die Fugenparallelität deutlich gering ist, und in jeden Fall auf eine CNC-Nacharbeit verzichtet werden kann. Jedoch

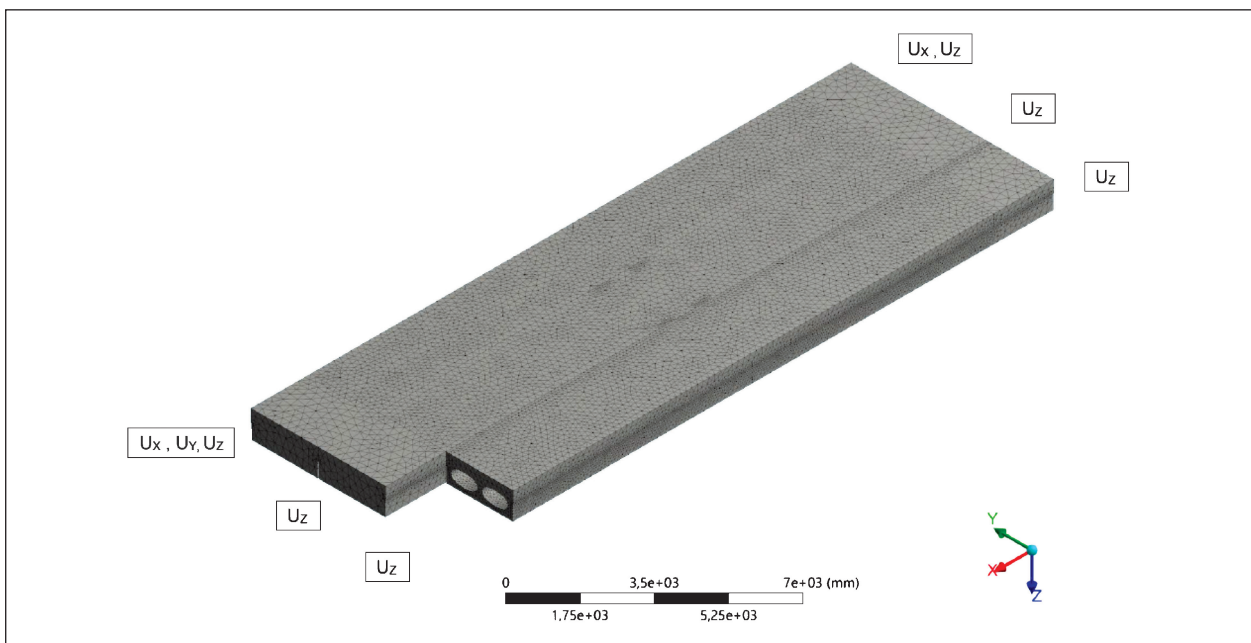


Bild 6-22: Vernetzter Untersuchungsquerschnitt mit Hohlkörpern [35]

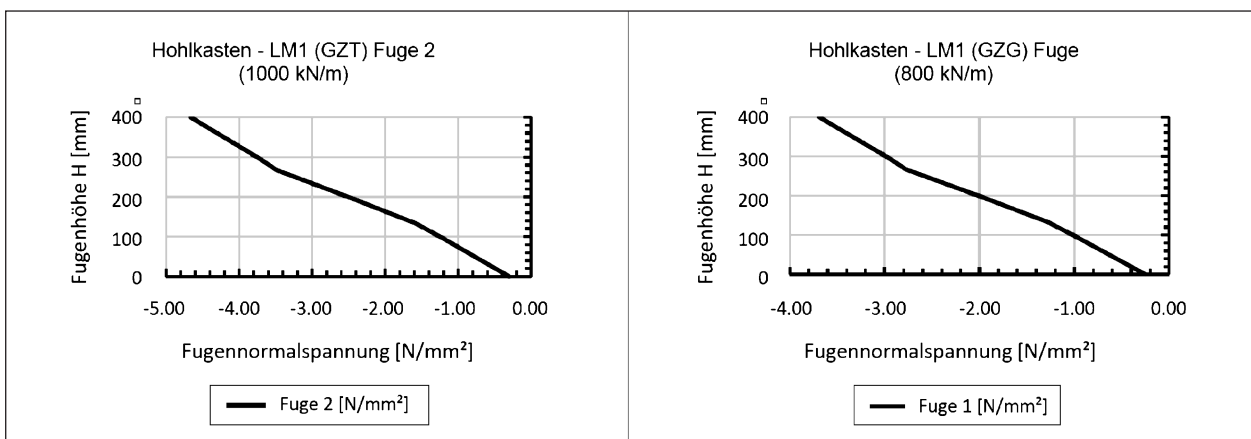


Bild 6-23: Dekompression der maßgebenden Fuge 2 – links: Lastfall 1 (Verkehrslasten im GZT, $\gamma = 1,35$), rechts: Lastfall 2 (Verkehrslasten im GZG, $\gamma = 1,00$) [35]

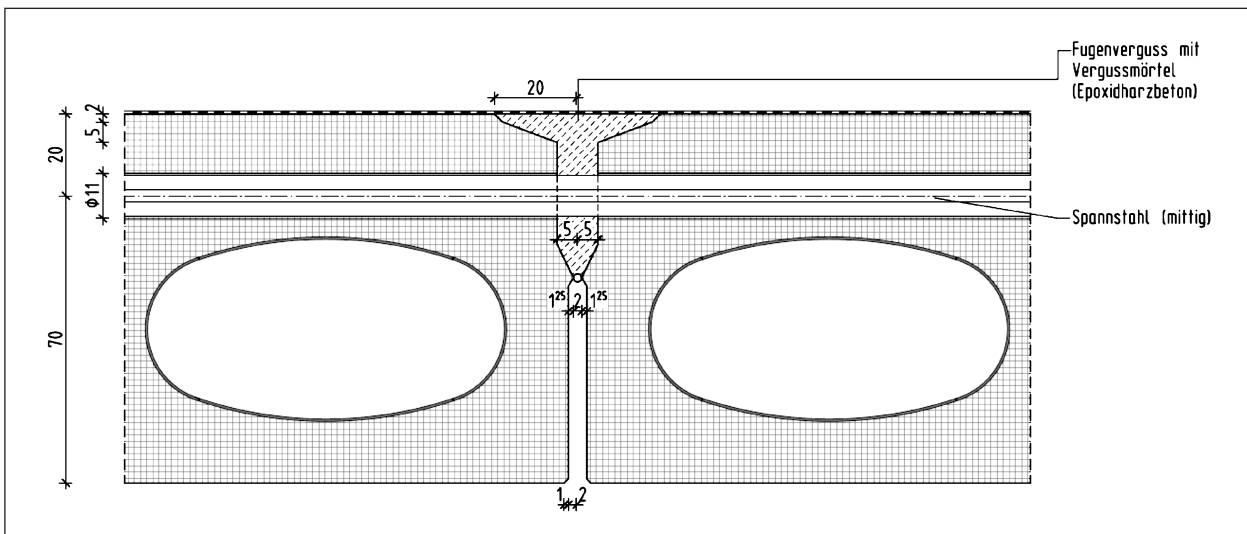


Bild 6-24: Detail – Fugenausbildung durch Mörtelverguss

stellt jeder Mörtelverguss zusätzlichen Aufwand und eine Fehlerquelle dar. Auch das Aufräuen der Fuge ist ein zusätzlicher Arbeitsschritt bei der Vorfertigung der Trägerelemente.

Um Unterschiede in den Trägerhöhen ausgleichen zu können, ist im Randbereich der Träger die Überbauoberseite um 2 cm herabgesetzt. Nach Montage der Träger wird der Versatz mit Epoxidharzbeton gefüllt und etwaige vorhandene Unebenheiten ausgeglichen, sodass die Abdichtung flächig verlegt werden kann

Im Kragarmbereich der Randträgerelemente sind entsprechende Nischen vorgesehen, in denen die Ankerköpfe angeordnet werden. Die Nischenform stellt sicher, dass die Ankerköpfe dauerhaft zugänglich sind und zum Anderen stellen diese einen Witterungsschutz dar.

Die Spannbetonbalken werden in einer Betondruckfestigkeitsklasse C 40/50 mit den Expositionsklassen XC4, XD1, XF2 ausgeführt. Abweichend dazu wird die Gesimsaufkantung in den Expositionsklassen XC4, XD3, XF4 ausgeführt. Als schlaffe Bewehrung wird Betonstahl B 500 B vorgesehen. Im Bereich der Gesimsaufkantung wird Bewehrungsstahl mit einem hohem Korrosionswiderstand der Werkstoffnummer 1.4003 verwendet, um die Dauerhaftigkeit der Konstruktion sicherzustellen. Die Vorspannung der Fertigteile wird durch Betonage im Spannbett hergestellt.

Lager, Gelenke

Der Überbau und die Unterbauten werden über ein Betongelenk miteinander verbunden. Das Gelenk wird derart realisiert, dass eine am Trägerende ausgebildete Halbkugel in eine im Widerlagerfertigteile vorgesehene Aussparung eingreift, welche nach dem Ausrichten der Träger von der Oberseite des Überbaus vergossen wird. Die Halbkugel am Trägerende wird durch ein gekantetes Blech ausgebildet. Die Aussparung in den Widerlagerfertigteilen wird durch ein U 300 mit angeschweißtem Bewehrungsstab ausgeführt. Die Verwendung des U-Profiles erfolgt, um die Horizontalkraftübertragung zwischen dem Überbau und dem Widerlager sicherstellen zu können und Betonabplatzungen im Kantenbereich zu vermeiden.

Die Rotation des Überbaus im Betongelenk wird einerseits durch die Halbkreisform des Gelenkes ermöglicht und andererseits durch Beschichten der Halbkugel mit einem 3 mm dicken Überzug aus kunststoffmodifizierter Bitumendickbeschichtung sichergestellt.

Die Überbaufertigteile werden mittels Ankerstangen, welche mittig im Betongelenk angeordnet sind, in der Lage gesichert. In den Widerlager- und Überbaufertigteilen sind dafür Aussparungen vorgesehen. Nach der Montage der Überbauten werden die Ankerstangen eingebaut und vergossen.

Der Verguss des Gelenkes erfolgt von der Überbauoberseite aus. Um zu verhindern, dass der Vergussmörtel in den Fugenspalt läuft, wird auf die Widerlagerfertigteile ein kompressibles, selbstklebendes Dichtband aufgebracht. Mit der Montage der

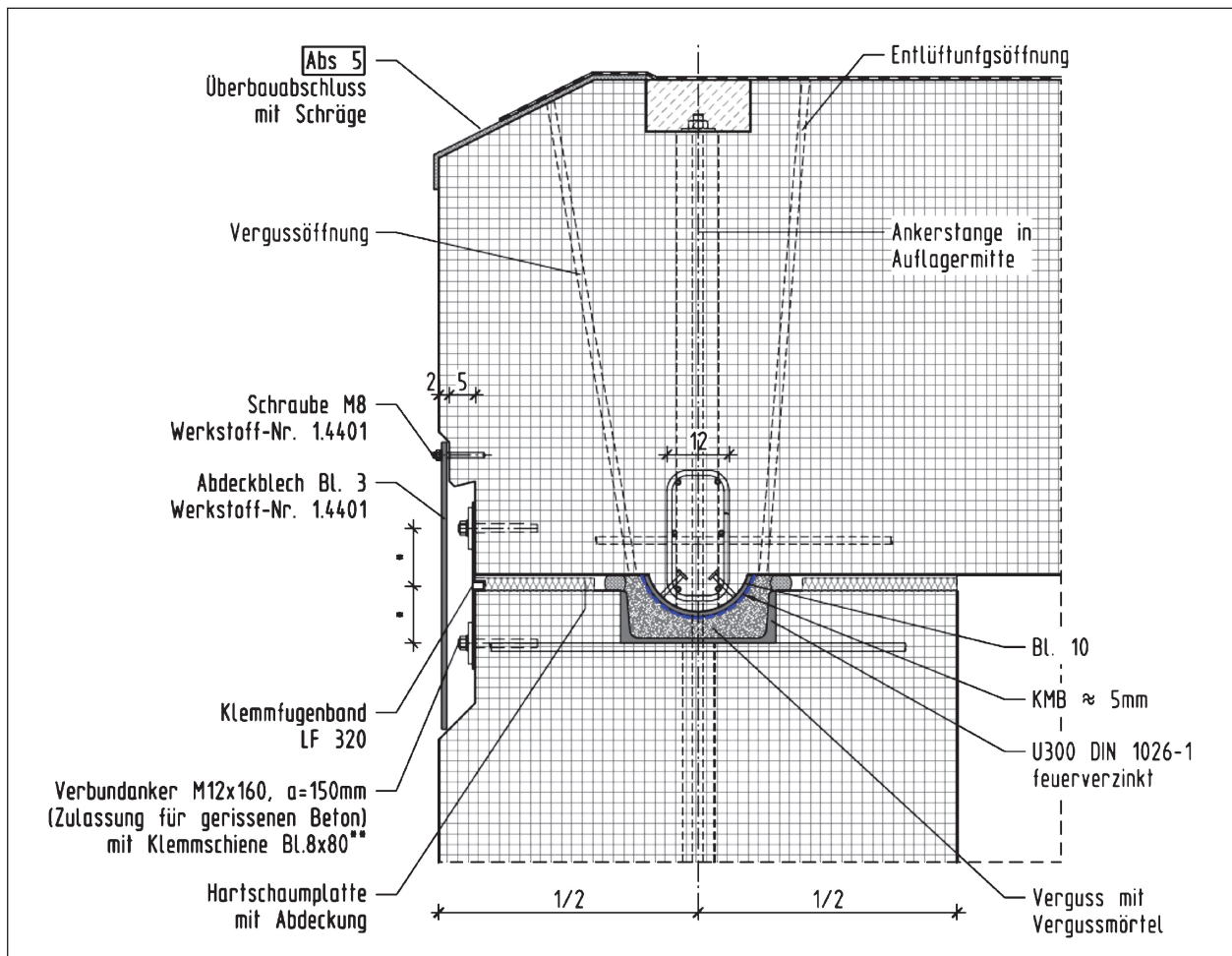


Bild 6-25: Detail – Betongelenk und Überbauabschluss

Überbauten wird dieses gestaucht, und der Fugenspalt geschlossen.

Fahrbahnkonstruktion

Der Überbauabschluss erfolgt durch Ausbildung einer abgeschrägten Überbauoberseite gemäß Richtzeichnung Abs 5 [12].

Abdichtung, Belag

Auf dem Überbau wird eine Abdichtung und ein Belag nach ZTV-ING 7-1 [14] und Richtzeichnung Dicht 3 [12] ausgeführt.

Die seitliche Verwahrung der Abdichtung erfolgt analog zum Bauwerk 1.

Die Horizontalfuge zwischen dem Widerlager und dem Überbau soll in Anlehnung an die Richtzeichnung Abs 1, Blatt 1 [12] ausgebildet werden. Da die Widerlager- und Überbaufertigteile voneinander unabhängig hergestellt werden und zudem noch verti-

kale Fugen und Längsfugen vorhanden sind, kann das Fugenband nicht mit einbetoniert werden. Die horizontale Fuge zwischen beiden Bauteilen wird durch ein Klemmfugenband, welches nach Montage aller Einzelteile eingebaut wird, geschlossen. Seitlich wird dieses noch in einem 90° Winkel zum Stummelflügel herumgeführt und nach ca. 50 cm vertikal nach oben abgewinkelt. Die Verwahrung erfolgt dann im Gesimsbereich entsprechend der horizontalen Abdichtung.

Die vertikale Fuge zwischen den Widerlagerfertigteilen wird auf der Erdseite durch ein aufgeklebtes Thermoplastisches Dichtungselement abgedichtet. Dies wird auf die grundierte Fläche mit einem Systemkleber aufgeklebt und bis zur horizontalen Querfuge hochgeführt. Das Dichtungselement ist vor dem Klemmfugenband einzubauen, um dieses dann auf der Oberseite noch mit dem Klemmfugenband zu verwahren. Das Dichtungselement wird noch mit einer Bitumenschweißbahn und Dichtungslage überdeckt. Die erdseitig einzubauende Dränmatte stellt dann die Schutzlage für das Dichtungselement

dar. Bei der Ausführung besteht eine gewisse Analogie zur Richtzeichnung Fug 4, Blatt 2 [12].

6.3.5 Entwässerung; Rückhaltesysteme, Schutzeinrichtungen und Zugänglichkeit

Die Beschreibung der Kapitel Entwässerung, Rückhaltesysteme, Schutzeinrichtung und Zugänglichkeit der Konstruktionsteile ist an dieser Stelle entbehrlich, da diese im Wesentlichen analog zum Bauwerk 1 sind und in diesen entsprechenden Abschnitten nachgelesen werden können.

6.3.6 Herstellung Bauzeit

Bauablauf, Bauzeit

Mit der Bauweise wird als wesentlicher innovativer Ansatz die Fertigung des Bauwerkes in ein Fertigteilwerk verlagert. Vor Ort erfolgen dann nur noch die Montage und die Fügung der Fertigteile untereinander. Dabei werden die Fertigteile der Teilbauwerke der Richtungsfahrbahnen nacheinander aufgebaut, um die Verfügbarkeit der Autobahn während der ganzen Bautätigkeit absichern zu können. Die Verlagerung der Fertigung in ein Fertigteilwerk und die Modularisierung der Bauweise trägt wesentlich zum Erreichen des Projektzieles bei.

Die Errichtung des Brückenbauwerkes unterteilt sich in drei Bauzustände, welche nachfolgend beschrieben werden.

Bauzustand 0 – Vorfertigung

Vorgelagert zur Bautätigkeit vor Ort erfolgt die Vorfertigung der Bauteile in einem Fertigteilwerk. Je

nach Lagerkapazität können die Fertigteile für das ganze Bauwerk hergestellt werden oder es erfolgt die Fertigung und die Auslieferung der Bauteile „Just in Time“ entsprechend des Fertigungsablaufes vor Ort.

Bauzustand 1 – Aufbau des südlichen Teilbauwerkes

Im ersten Schritt wird die bauzeitliche Verkehrsführung eingerichtet, um Baufreiheit zum Einbau des ersten Teilbauwerkes zu erlangen. Dazu werden entsprechende Mittelstreifenüberfahrten hergestellt und beide Richtungsfahrbahnen auf der nördlichen Fahrbahn gebündelt. Wie dies geschehen soll, ist in Kapitel 5.1.2 dargestellt. Nachdem der Verkehr umverlegt wurde, werden die Bestandsfahrbahn und das Bestandsbauwerk rückgebaut. Bei der vorliegenden Konzeptbearbeitung wird davon ausgegangen, dass es sich beim Bestandsbauwerk um ein zweiteiliges Bauwerk handelt und damit aufwendige Rückbauzustände ausgeschlossen werden können. Gleichzeitig entsteht die Baugrube für das neue Bauwerk. Um die nebenliegende Richtungsfahrbahn weiterhin ohne Einschränkung benutzen zu können, wird zwischen den Fahrbahnen ein Mittellängsverbau mit Rückverankerungen errichtet. Für den Rückbauzustand ist die unterführte Straße vollständig zu sperren. Nachdem die Baugrube ausgehoben wurde, erfolgt die Herstellung des Bodenaustausches mit Beton.

Auf dem Bodenaustausch werden die Widerlager- und Flügelfertigteile auf eine Montageschicht aufgesetzt, ausgerichtet und verspannt. Abschließend wird das Mörtelschloss ausbetoniert und die Dichtstreifen auf dem Widerlagerkopf aufgeklebt.

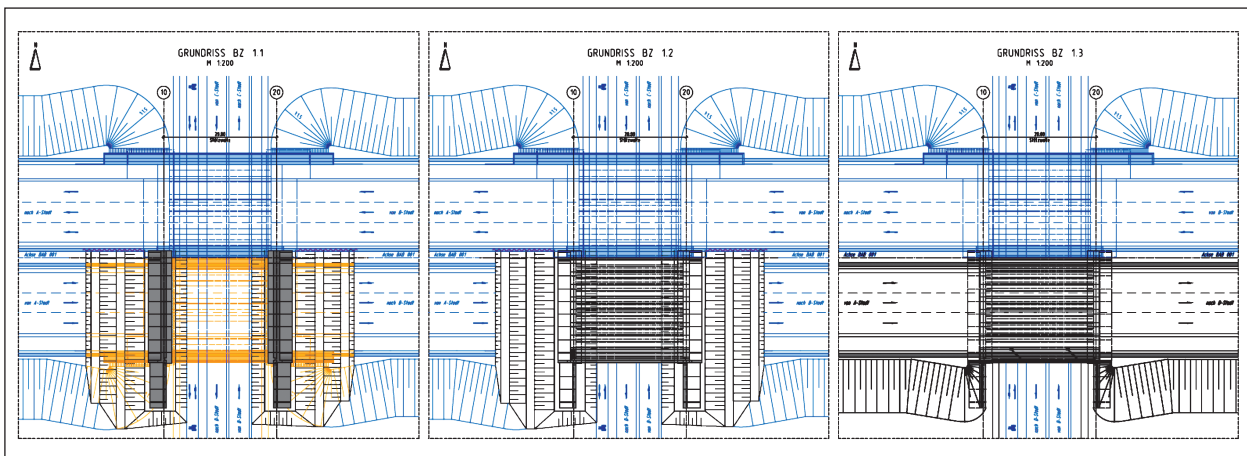


Bild 6-26: Aufbau des südlichen Teilbauwerkes

Vor den aufgebauten Widerlagerwänden werden Traggerüststützen und Jochträger aufgestellt, auf denen die Überbaufertigteile verlegt und ausgerichtet werden. Nach Positionierung aller Träger werden die Spannglieder eingebaut und vorgespannt. Die so hergestellte Überbauplatte wird durch verpressen des Betongelenkes und den Einbau der Ankerstäbe dauerhaft mit dem Widerlager verbunden. Nach der Montage der Betonfertigteile, werden die Fugenkonstruktionen eingebaut, der Ausgleichsmörtel auf dem Überbau aufgebracht und die Abdichtung verlegt.

Nachdem Rückbau der notwendigen Baubehelfe erfolgt der Aufbau der Hinterfüllung und Entwässerung. In einem letzten Schritt wird noch die Fahrbahn auf dem Brückenbauwerk und im Anschlussbereich hergestellt und das Geländer sowie die Schutzeinrichtungen aufgebaut. Das Einzelfundament zum Verankern der Betonschutzwand wird mit dem Aufbau der Hinterfüllung als Fertigteil mit versetzt.

Anschließend kann die bauzeitliche Verkehrsführung aufgehoben und die Richtungsfahrbahn wieder in die eigentliche Lage rückverlegt werden.

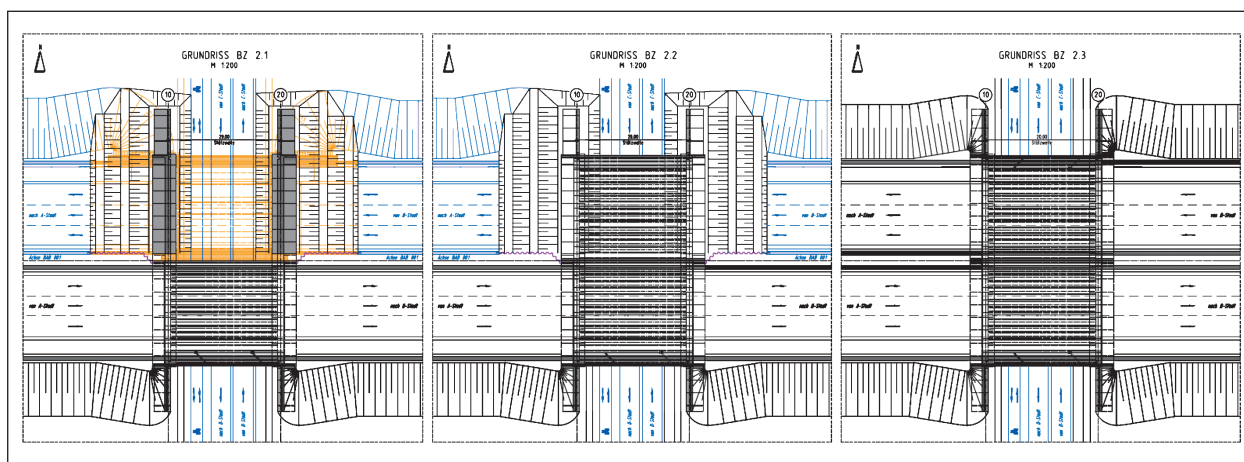


Bild 6-27: Aufbau des nördlichen Teilbauwerkes

	Einfeldbauwerk 15 bis 30 m	
	konserv.	Innovativ
Bauausführung 1. Richtungsfahrbahn		
Mittelstreifenüberfahrt, BE, Verbau, Rückbau, Baugrube		4
Herstellung der Unterbauten in Endlage	13,5	2,25
Herstellung der Überbauten in Endlage	9,5	4
Hinterfüllung, Entwässerung, ggf. Schleppplatte, Brückenausstattung, Fahrbahn, BE räumen, Verkehrsführung aufheben		4
Summe der Bauzeit unter Sperrung der Richtungsfahrbahn	31	14
Zeiteinsparung Sperrung je Richtungsfahrbahn in Wochen		16,75
Zeiteinsparung Sperrung je Richtungsfahrbahn in Prozent		54 %
Gesamtbauzeit je Richtungsfahrbahn	43	26
Gesamtbauzeit je Richtungsfahrbahn in Prozent	100 %	61 %
Bauzeit gesamtes Bauwerk (Die Ausführungsplanung des 2. Teilbauwerkes läuft dabei parallel zur Ausführung des 1. Teilbauwerkes)	74	41
Sperrung Richtungsfahrbahn	31	14
Sperrung Gegenrichtungsfahrbahn	31	14
Sperrung Gesamt	62	29
Reduktion der Sperrung der Autobahn in Wochen		33,5
Reduktion der Sperrung in Prozent		54 %

Bild 6-28: Bauzeit und Verkehrseinschränkung Bauwerk 2

Bauzustand 2 – Aufbau des nördlichen Teilbauwerkes

Der Aufbau des nördlichen Bauwerkes erfolgt analog des südlichen Teilbauwerkes. Hinzukommt, dass der Mittellängsverbau an den Hilfsflügel angeschlossen werden muss.

Erzielbare Vorteile hinsichtlich Bauzeit und Verkehrseinschränkung

Auf Grundlage der in Kapitel 5.1 dargestellten Grobbauabläufe und in Anlage 2 hinterlegten Datenbank zur Berechnung der Grobbauabläufe wurde die Bauzeit für diesen konkreten Fall ermittelt. Mit dieser Variante wird gegenüber dem herkömmlichen Vorgehen die Gesamtbauzeit vor Ort um 33 Wochen und die Bauzeit mit Verkehrseinschränkungen ebenfalls um 33 Wochen reduziert werden. Die Verkehrseinschränkungen können damit um 54 Prozent reduziert werden (siehe Bild 6-28). Die

Variante wird damit den Anforderungen der Aufgabenstellung gerecht.

6.3.7 Baukostenschätzung und Kostenvergleich zwischen Standard- und innovativen Vorgehen

Für die Errichtung des Rahmenbauwerkes werden für die herkömmliche Bauweise Baukosten in Höhe von 5.579 T€ abgeschätzt. Bei der Errichtung des Bauwerkes entsprechend der vorgestellten innovativen Bauweise wird von Baukosten in Höhe von 5.080 T€ ausgegangen. Damit ist die Errichtung des Bauwerkes in innovativer Bauweise bei alleiniger Betrachtung der Baukosten um ca. 10 % günstiger gegenüber dem herkömmlichen Ansatz. Die Kostenreduzierung ist auf den geringeren Baugrubenaushub aufgrund der Umstellung auf eine Böschungsfügelvariante und den reduzierten Aufwendungen für die Traggerüste sowie den Verzicht auf

Kostenschätzung Ingenieurbau	Bauwerk 2 Einfeldbauwerk (10 bis 30m)	
	herkömmliche Bauweise Länge 21 m Breite 37,1 m	neue Bauweise Länge 21 m Breite 37,9 m
Inhalt	Kosten [T€]	Kosten [T€]
1 Baufeldfreimachung	49	49
2 Baugruben, Wasserhaltung, Hinterfüllung	847	660
3 Baugrubensicherung, Vershub	133	273
4 Gerüste, Abbruch	353	339
5 Beton, Stahlbeton, Spannbeton	1.533	1.326
6 Entwässerung	21	23
7 Stahlbau, Lager, ÜKO, SE, Geländer	146	68
8 Oberflächen- und Korrosionsschutz, Abdichtung, Deckschicht	353	376
9 Sonstige Bauleistungen	4	7
10 Baustelleneinrichtung	344	312
11 Verkehrssicherung	100	100
12 Sonstige Baunebenkosten	153	144
13 Technische Bearbeitung (AG und AN)	516	468
Summe	4.552	4.144
3% Kleinleistg.	137	124
Baukosten (netto)	4.688	4.269
19% MWSt	891	811
Baukosten (brutto)	5.579	5.080
Fläche [m ²]	779	796
Baukosten, netto, abzügl. Techn. Bearbeitung	4.172	3.801
Baukosten, netto / Bauwerksfläche [€/m ²]	5.400	4.800

Bild 6-29: Kostenschätzung Bauwerk 2 Einfeldbauwerk

die herkömmliche Kappe zurückzuführen. Neben dem Vorteil, dass mit der Variante die Straßensperren um ca. 54 % reduziert werden, können hier auch noch geringe Kostenvorteile geltend gemacht werden.

Die ausführliche Darstellung der Kostenberechnung ist in Anlage 5 hinterlegt.

6.3.8 Abweichungen zum Regelwerk

Die Variante ohne Kappen ist in der Form im Regelwerk noch nicht enthalten, weicht jedoch hinsichtlich der verwendeten Komponenten nicht vom Regelwerk ab. Eine Abweichung besteht zur RE-ING – Teil 2 Abschnitt 1.1 Abschnitt (6) [3]. Darin enthalten ist, dass die Kappe in Ortbeton zu planen ist. Das ist hier nicht der Fall, da das Gesims im Fertigteil integriert ist und auf die Kappe verzichtet wird. Die vorgesehene Art der Betonschutzwand ist für den Anwendungsfall Brücke noch nicht abschließend geklärt. Hier ist im Ausführungsfalle gegebenenfalls die Zustimmung im Einzelfall einzuholen.

Die Überbauten enthalten nicht mehr zugängliche Hohlräume bzw. Verdrängungskörper, welche nach RE-ING Abschnitt 1.3.1 [3] nicht zugelassen sind. Da die Verdrängungskörper imprägniert sind bzw. die Hohlkörper luftdicht verschweißt werden, wird die Abweichung als tolerierbar eingeschätzt. Auch die zerstörungsfreie Prüfung der Hohlkörperlage im Betonquerschnitt verstärkt die Tolerierbarkeit.

Für die quer vorgespannte Längsfuge fehlen Vorgaben hinsichtlich der Bemessung für den Ermüdungslastfall. Hier sollten entsprechende Versuchsreihen durchgeführt werden, um eine Bemessungsgrundlage zu erhalten.

Ebenso sind die Längsfugen im Vorschriftenwerk noch nicht enthalten und es fehlen dahingehende Festlegungen zur konstruktiven Ausbildung des Fugenbereiches. Mit der wissenschaftlichen Betrachtung der Längsfuge konnte gezeigt werden, dass diese auch unter Verkehrslast dauerhaft überdrückt ist und der Nachweis der Schubkraftübertragung nicht den limitierenden Nachweis darstellt. Von daher wird die Anwendung einer derartigen Fugenkonstruktion bei Einhaltung der vorgenannten Nachweise als möglich eingestuft. Dabei muss jedoch auch auf die Querschnittwahl der Längsträger und die Lage der Fuge geachtet

werde, da die Torsionssteifigkeit der Längsträger und die Biegesteifigkeit des Quersystems entscheidende Eingangsgrößen bei der Nachweisführung sind.

Gemäß RE-ING Abschnitt 1.3.4 [3] sind Spannbetonfertigteilträger nur in T-Querschnittform beschrieben. Eine Aussage, dass andere Querschnittformen nicht zugelassen sind, ist in dem Kapitel nicht enthalten. Die Abweichung wird als irrelevant eingeschätzt.

Die Stützweite für Überbauten ist bei Ausführung eines Betongelenkes gemäß [12] auf 15 m begrenzt.

6.3.9 Bewertung des Realisierungskonzeptes

Mit dem Realisierungskonzept wurde erreicht, dass durch Anwendung der modularen Bauweise die Bauzeit mit Verkehrseinschränkungen erheblich reduziert werden konnte. Gleichzeitig sind dafür keine monetären Mehraufwendungen erforderlich.

Durch Modularisierung des Bauwerkes und Verlagerung der Fertigung in ein Fertigteilwerk, konnte die Bauzeit vor Ort und die damit einhergehenden Witterungseinflüsse und Beeinflussung der Umgebung stark reduziert werden. Die Fertigung in einem Fertigteilwerk sollte auch der qualitativen Ausführung des Bauwerkes zuträglich sein. Gleichzeitig erfordert die Anwendung der modularen Bauweise einen gesteigerten Anspruch an die Ausführungstoleranzen und Sorgsamkeit bei der Montage der vorgefertigten Elemente, weil nur dadurch Baufehler vermieden und hochwertige sowie langlebige Bauwerke errichtet werden können. Die Anwendung der Bauweise der Gesimsaufkantung mit vorgestellter Betonschutzwand reduziert zusätzlich die Bauzeit mit Verkehrseinschränkungen.

Zu beachten ist bei dieser Art der baulichen Errichtung, dass diese in ihrer Gesamtheit für Bauwerke mit Stützweiten bis maximal 20 m anwendbar ist. Größere Stützen sind möglich, erfordern jedoch Komponenten der Ortbetonergänzung für den Auflagerbalken und Lager für den Überbau.

Mit dem Konzept werden neue Bauweisen dargestellt, welche in Deutschland in der Form, bis auf wenige Ausnahmen, noch nicht realisiert wurden sind. Von daher sollte die Bauweise erst für Pilotprojekte angewendet werden. Ein Prüfregiment

sollte den Bau begleiten, um praktische Rückschlüsse ziehen und etwaige korrigierende Maßnahmen einleiten zu können. Auch die Abweichungen zum Regelwerk können damit hinsichtlich ihrer Relevanz validiert werden.

Der Lösungsansatz der Gesimsaufkantung mit vorgestellter Betonschutzwand sollte zuerst in einem Pilotprojekt realisiert werden, um praktische Erfahrungen mit der Bauweise zu sammeln und die Überführung in eine Standardbauweise vorzubereiten.

6.4 Bauwerk 3 – Zweifeldsystem mit einer Gesamtlänge von bis zu 70 m

6.4.1 Allgemeine Objektbeschreibung

Im Brückenbereich verläuft die Trasse der Autobahn in einer Geraden. Das Längsgefälle ist für den Musterfall mit 0,5 % angenommen. Das Bauwerk ist als flach gegründetes Zweifeldbauwerk mit einer Gesamtstützweite von 70 m geplant. Aus der im Feld durchgehend konstanten Konstruktionshöhe von 1,50 m des Überbaus resultiert eine Schlankheit von $35 \text{ m} / 1,50 \text{ m} = 23$. Im Bereich des Zwi-

schenspfeilers ist der Überbauquerschnitt in Längsrichtung gevoutet ausgeführt und hat eine Konstruktionshöhe von 2,25 m.

Für die Autobahn wurde ein Querschnitt RQ 36 B der EKA 1 nach RAA – Richtlinie für die Anlage von Autobahnen festgelegt. Der Abstand zwischen den Borden beträgt hierbei 14,50 m. Der Mittelstreifenbereich beträgt 4,00 m.

Die Autobahn wird mit dem Brückenbauwerk im ersten Feld über einen vorhandenen Straßenverkehrsweg und im zweiten Feld über ein Gewässer überführt.

Bautechnologisch ist vorgesehen, das Zweifeldbauwerk in Form von zwei unabhängigen Teilbauwerken je Richtungsfahrbahn zu erneuern. Die Unterbauten werden in der Bauweise Vollquerschnitt in Köcherfundamenten und der Überbau als dreistegiger Stahlverbundplattenbalken mit nachträglich aufgesetzter Spannbetonplatte ausgeführt. Dabei werden die jeweiligen Teilbauwerke im Fertigteilwerk vorgefertigt und während einer bauzeitlichen Verkehrsführung auf einem Teilbauwerk montiert. Die Montage der beiden Teilbauwerke erfolgt jeweils nacheinander, sodass die Autobahn immer verfügbar ist.

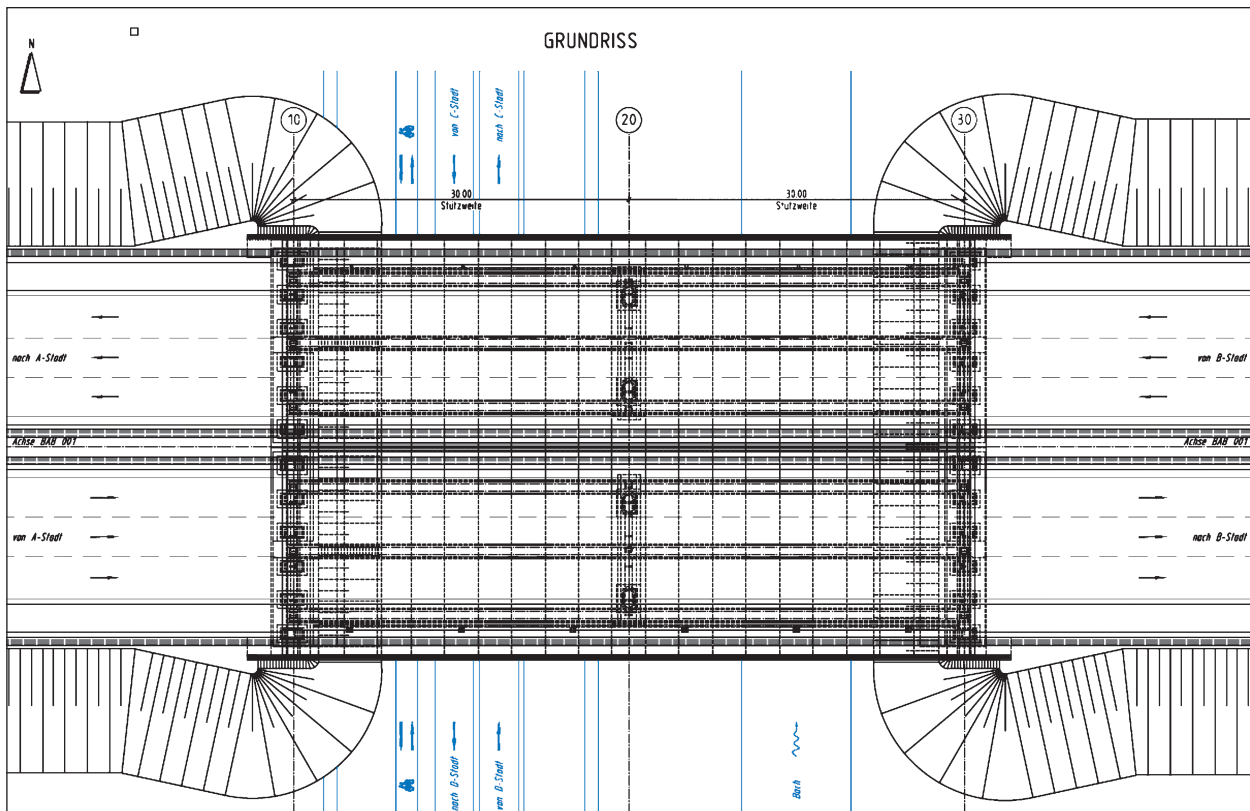


Bild 6-30: Grundriss Bauwerk 3 Zweifeldbauwerk

6.4.2 Gründung

Für den Referenzfall wird davon ausgegangen, dass im Gründungsbereich tragfähige Baugrundschiehtungen vorhanden sind, auf welchen das Brückenbauwerk flach gegründet werden kann. Auch der Grundwasserleiter befindet sich unterhalb der geplanten Gründungsebene, sodass sich Wasserhaltungsmaßnahmen auf das während der Bau-durchführung zulaufende Oberflächenwasser beschränken und keine zusätzlichen Maßnahmen erfordern.

Das Brückenbauwerk wird auf einem 50 cm mächtigen Unterbeton ca. 2,00 m unter der vorhandenen Geländeoberkante flach gegründet. Der Bodenaustausch mittels Beton wird vorgesehen, um eine setzungsarme Aufstandsfläche für das vorgefertigte Bauwerk zu erhalten.

Die Fundamente der Widerlager und Stützen werden als Köcherfundamente realisiert und soweit wie möglich im Fertigteilwerk vorfabriziert. Aufgrund der Fundamentgröße werden die Widerlagerfundamente der Teilbauwerke in Form von zwei Fertigteilen

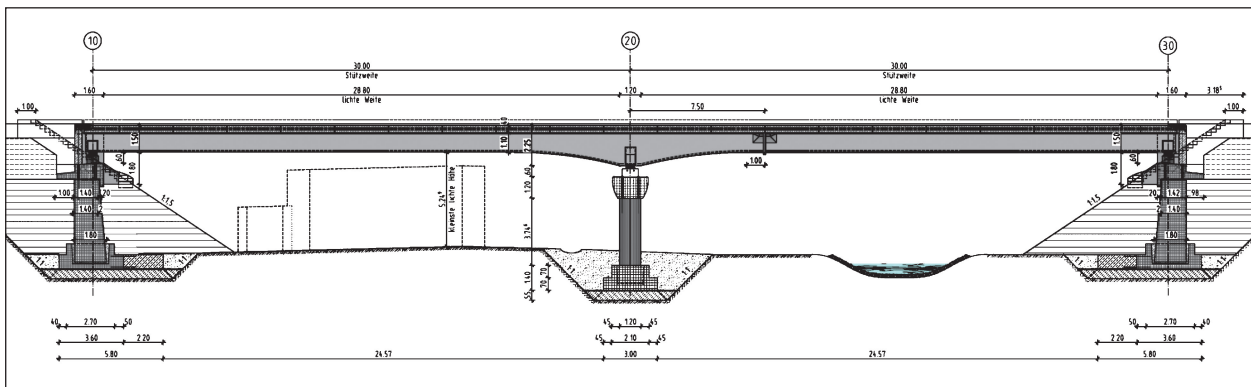


Bild 6-31: Längsschnitt Bauwerk 3

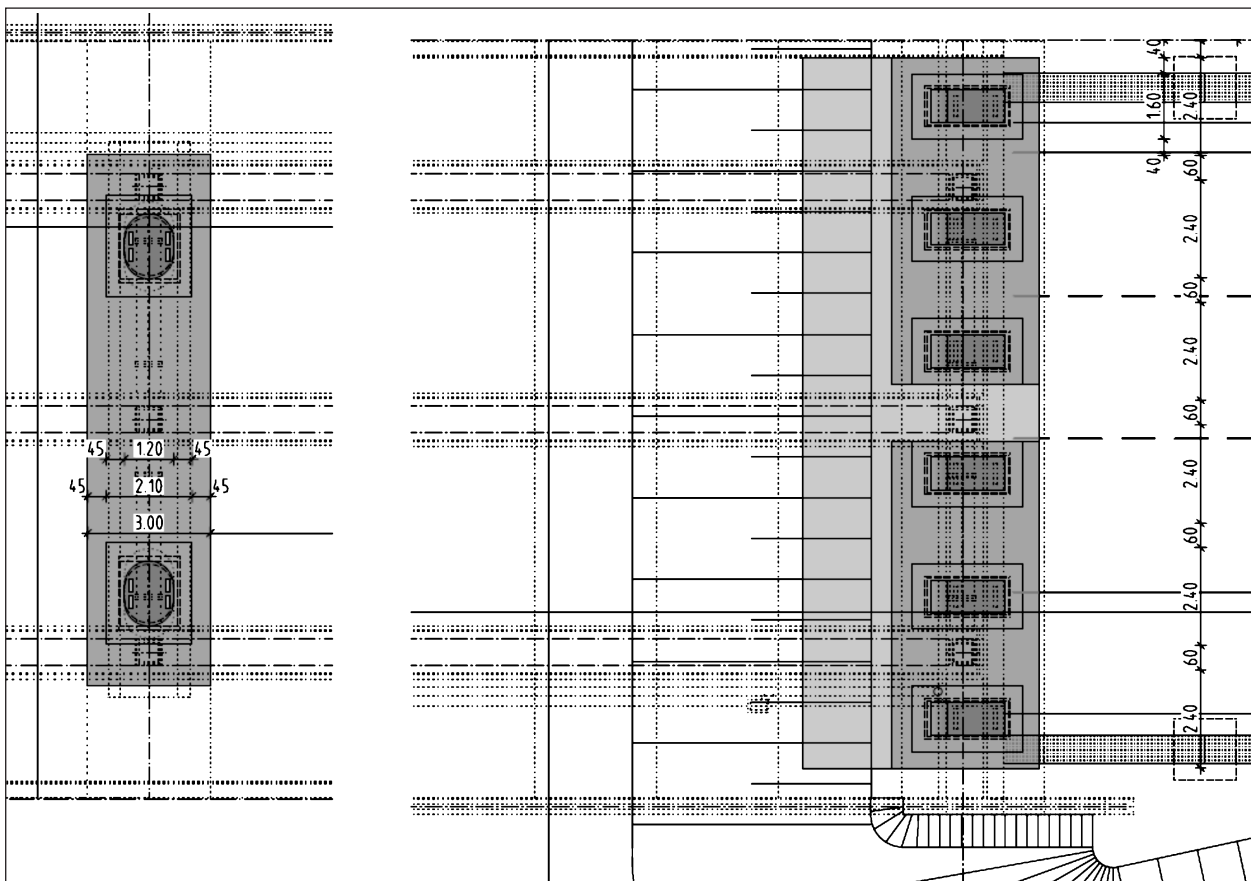


Bild 6-32: Grundriss der Fundamente Pfeiler und Widerlager

hergestellt, welche nach dessen Positionierung zwischen und vor den Fundamenten mit einer Ortbetonergänzung als ein Flächenfundament verbunden werden. Die Fertigteile enthalten schon die schwierig herzustellenden Fundamentköcher, in denen dann die Stahlbetonstützen gestellt werden, um den Schalungs- und Bewehrungsaufwand vor Ort auf ein Minimum zu begrenzen und einfach zu halten.

Das Einzelfundament der Zwischenunterstützung kann aufgrund seiner Abmessungen als ein Fertigteil im Betonwerk hergestellt werden.

Die Fundamentfertigteile werden vor Ort auf eine 5 cm dicke Montageschicht aus Splitt versetzt.

Die Fundamente werden in Stahlbetonbauweise der Druckfestigkeitsklasse C40/50 mit den Expositionsklassen XC2, XD1 und XF2 und Bewehrungsstahl B 500 B verwendet errichtet.

6.4.3 Unterbauten

Widerlager

Das Widerlager besteht aus sechs Stahlbetonstützen und einem Auflagerträger. Die Stützen und der Auflagerträger werden als Fertigteil hergestellt. Komplettiert wird das Widerlager noch durch eine Kammerwand mit Stummelflügel, welche als Ortbetonergänzung hergestellt werden. Aufgrund der Bauteilabmessungen ist es nicht möglich, die Kammerwand in das Fertigteil des Auflagerträgers zu integrieren. Der Schalungsaufwand zur Herstellung der Kammerwand und des Stummelflügels ist aufgrund der kleinen Bauteilabmessungen überschaubar und verursacht keine größere Bauzeitverlängerung. Das mit diesen Tragelementen errichtete Widerlager wird eingeschüttet, sodass ein aufgestän-

deres Widerlager entsteht. In der Frontansicht wird eine Berme vor der Auflagerbank, einschließlich Böschungstreppe errichtet. Die Stützen haben hierbei alle die gleiche Länge. Die Querneigung der Fahrbahn wird mit der Oberkante des Auflagerbalkens aufgenommen.

Die vorgefertigten Stützen werden in die zuvor beschriebenen Köcherfundamente gestellt, ausgerichtet und ausgegossen. Der Auflagerträger wird auf die Stützen aufgelegt. Zur statisch wirksamen Verbindung der Stützen mit dem Auflagerträger bindet Anschlussbewehrung aus den Stützen in Vergussöffnungen des Auflagerträgers ein. Die erdseitige Anschlussbewehrung reicht noch bis in die Kammerwand hinein, sodass eine Verbindung mit der vertikalen Bewehrung der Kammerwand hergestellt werden kann. Mit dem Vergießen der Anschlussbewehrung wird gleichzeitig die komplette Auflagerfläche zwischen dem Auflagerträger und den Stützen vergossen.

Um den Lastabtrag zu verbessern, wird der Auflagerbalken mit einem erdseitigen Sporn versehen. Durch die Hinterfüllung des Bauwerkes wird darüber ein günstig wirkendes Gegenmoment in die Gesamtkonstruktion eingetragen.

Um die Flügellänge zu reduzieren, wird an der Außenseite des Auflagerträgers ein luftseitig ausgerichteter und in Längsrichtung orientierter Stummelflügel angeordnet.

Die Stützen werden in einer Breite von 80 cm ausgebildet. Die Tiefe der Stützen beträgt im Bereich des Fundamentfußes 1,80 m und verringert sich nach oben auf 1,40 m. Der Auflagerträger hat eine minimale Bauhöhe von 0,85 m und eine Breite von 1,60 m. Der erdseitige Sporn ist 1,00 m lang. Luftseitig ist noch eine Schürze vorgesehen, welche

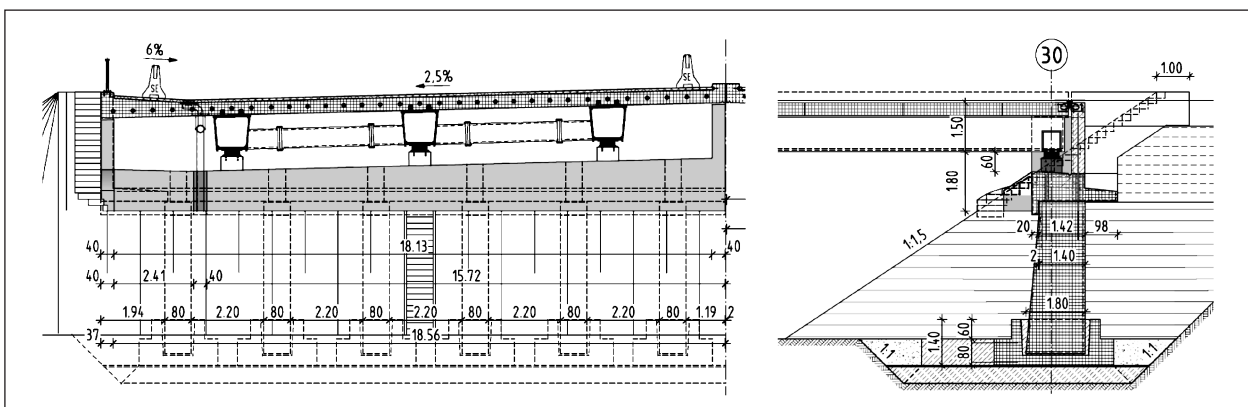


Bild 6-33: Detail – Widerlager, Ansicht und Längsschnitt

bau und die Herstellung des Verbundquerschnittes.

Im Einzelnen wird der Betongurt quergeteilt und in Plattenelemente mit einer Dicke von 40 cm und einer Breite von 3,00 m aufgelöst. Diese werden unabhängig voneinander hergestellt. Da die Plattenelemente auf der Baustelle zusammengesetzt und damit in Form einer Pressfuge gestoßen werden, ist die Kontaktstelle mittels CNC-gesteuerter Frästechnik nachzuarbeiten. Für das zentrische Vorspannen der zusammengesetzten Plattenelemente werden entsprechende Hüllrohre eingebaut. Das Vorspannen der Plattenelemente erfolgt mittels Bündelspannglieder ohne Verbund. Der Ankerkopf befindet sich jeweils im Anschlussbereich der Übergangskonstruktion und wird bei dessen Montage mit vergossen. Auch für dieses Bauwerk kommt die Bauart ohne Kappe mit Gesims zur Anwendung. Aus diesem Grund werden die Plattenelemente mit einer Gesimsaufkantung hergestellt.

Die drei Stahlträger des Verbundquerschnittes mit einer Länge von 70 m werden als dicht geschweißter Hohlkasten in Trapezform hergestellt. Im Feldbereich verläuft der Querschnitt mit konstanter Höhe und voutet sich im Bereich der Mittelstütze im Radius auf. Um transportierbare Trägerlängen zu erhalten, wird der Träger im zweiten Feld gestoßen. Der Stoß der beiden Trägerelemente soll mittels Kopfplattenstoß, unter Verwendung von HV-Schrauben, hergestellt werden. Der Aufbau der Beschichtung kann damit im Wesentlichen schon vollständig im Werk ausgeführt werden. Die Verbindung der einzelnen Träger untereinander erfolgt mit Stahlquerträgern im End- und Zwischenauflagerbereich. Die Querträger werden ebenfalls in dicht ge-

schweißter Hohlkastenform ausgebildet. Um die Montage vor Ort zu vereinfachen und Schweißarbeiten zu vermeiden, werden an den Hauptträgern Endquer- beziehungsweise Querträgerstummel angeschweißt, zwischen denen nach der Positionierung der Längsträger Endquerträgerzwischenstücke eingesetzt werden. Die Verbindung der Stummel und Zwischenstücke erfolgt mittels eines Kopfplattenstoßes unter Verwendung von HV-Schrauben.

Die Verbundherstellung zwischen den Stahlträgern und den Plattenelementen erfolgt entsprechend Möglichkeit 3 der im Kapitel 3.5.4 vorgestellten Varianten der Verbundherstellung, dem sogenannten Verfahren der Injizierten Fuge [15]. Auf jedem Stahlträger werden zwei Riffelbleche als Verbundmittel aufgeschweißt. Die Plattenelemente werden in diesem Bereich mit einer Nut hergestellt. Nach dem Aufsetzen, Ausrichten und Verspannen der Plattenelemente entsteht im Bereich der Nut eine Art Kanal, in dem sich die Verbundmittel – die Riffelbleche – befinden. Nach dem gleichen Prinzip wie Hüllrohre von Spanngliedern im nachträglichen Verbund verpresst werden, werden auch die Verbundkanäle injiziert. Um einen ausreichenden Haftverbund zu erreichen, wird im Bereich des Verbundkanals das Korngerüst der Platte freigelegt. Auf den Obergurten der Stahlträger wird eine Epoxidharzbeschichtung mit Quarzsandeinstreuung hergestellt, um die Rauigkeit zu erhöhen.

Die Plattenelemente des Stahlverbundquerschnitts werden in einer Betondruckfestigkeitsklasse C 40/50 mit den Expositionsklassen XC4, XD1, XF2 ausgeführt. Abweichend dazu wird die Gesimsaufkantung in den Expositionsklassen XC4, XD3, XF4

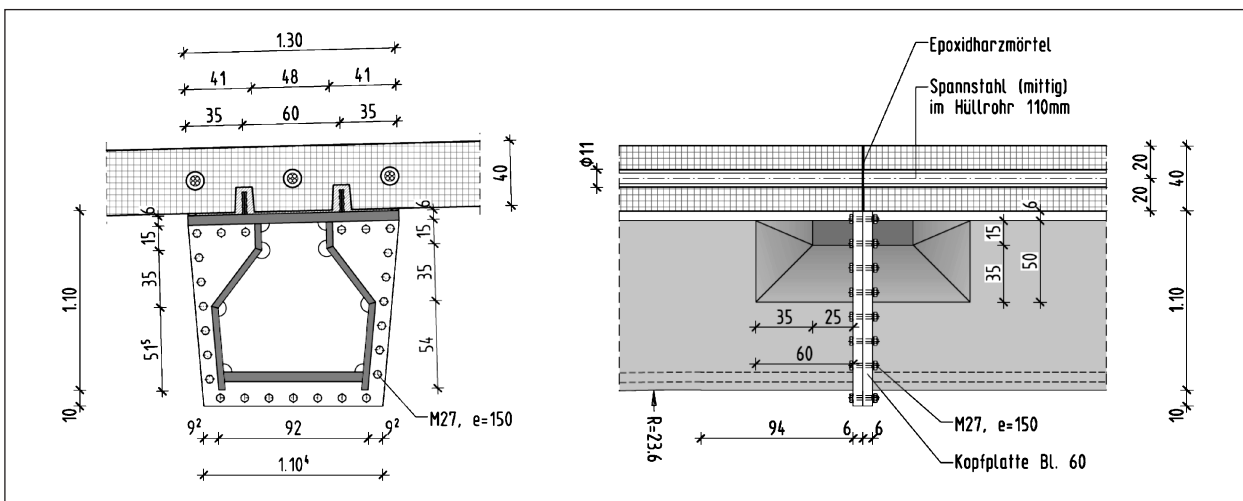


Bild 6-36: Detail – Stahlkonstruktion Überbau

ausgeführt. Als schlaffe Bewehrung wird Betonstahl B 500 B vorgesehen. Im Bereich der Gesimsaufkantung wird Bewehrungsstahl mit einem hohem Korrosionswiderstand der Werkstoffnummer 1.4003 verwendet, um die Dauerhaftigkeit der Konstruktion sicherzustellen. Die Vorspannung der Fertigteile erfolgt durch Bandspannglieder ohne Verbund. Die Stahlträger werden mit Baustahl der Sorte S355 J2 +N ausgeführt.

Lager, Gelenke

Das Zweifeldbauwerk wird über Elastomerlager auf den Unterbauten aufgelagert. Diese befinden sich im Lagerungspunkt jeweils direkt unter den Hauptträgern. In Längsrichtung wird das Festlager in der Achse 20 – der Mittelstütze ausgeführt. In Querrichtung werden die Festlager an den Lagern im Bereich des Mittelstreifens angeordnet, um Bewegungen der Teilbauwerke zueinander auszuschließen.

Fahrbahnkonstruktion

Im Bereich der Widerlagerachsen 10 und 30 wird eine Übergangskonstruktion gemäß Richtzeichnung Übe 1 [12] eingebaut.

Abdichtung, Belag

Auf dem Überbau wird eine Abdichtung und ein Belag nach ZTV-ING 7-1 [14] und Richtzeichnung Dicht 3 [12] ausgeführt.

Die seitliche Verwahrung der Abdichtung erfolgt analog zum Bauwerk 1.

Die vertikale Fuge zwischen den Widerlagerelementen der Teilbauwerke wird erdseitig mit einem Klemmfugenband geschlossen.

Korrosionsschutz, Schutz gegen Umwelteinflüsse

Die Konservierung der Stahlträger ist mit einer organischen Beschichtung nach ZTV-ING Teil 4, Abschnitt 3 [14] vorgesehen. Die Innenseite des Hohlkastens wird ohne Beschichtung ausgeführt, da dieser luftdicht verschweißt wurde.

6.4.5 Entwässerung; Rückhaltesysteme, Schutzeinrichtungen und Zugänglichkeit

Die Beschreibung der Kapitel Entwässerung, Rückhaltesysteme, Schutzeinrichtung und Zugänglichkeit

der Konstruktionsteile ist an dieser Stelle entbehrlich, da diese im Wesentlichen analog zum Bauwerk 1 sind und in diesen entsprechenden Abschnitten nachgelesen werden können.

6.4.6 Herstellung Bauzeit

Bauablauf, Bauzeit

Mit der Bauweise wird die Fertigung des Bauwerkes im Wesentlichen in ein Fertigteilwerk verlagert. Vor Ort erfolgen dann nur noch die Montage und die Fügung der Fertigteile untereinander. Dies trifft bis auf die in Ortbeton herzustellende Kammerwand zu. Dabei werden die Fertigteile der Teilbauwerke der Richtungsfahrbahnen nacheinander aufgebaut, um die Verfügbarkeit der Autobahn während der ganzen Bautätigkeit absichern zu können. Die Verlagerung der Fertigung in ein Fertigteilwerk trägt wesentlich zum Erreichen des Projektzieles bei.

Die Errichtung des Brückenbauwerkes unterteilt sich in drei Bauzustände, welche nachfolgend beschrieben werden.

Bauzustand 0 – Vorfertigung

Vorgelagert zur Bautätigkeit vor Ort erfolgt die Vorfertigung der Bauteile in einem Fertigteilwerk und bei einem Hersteller für Stahlbauten. Je nach Lagerkapazität können die Fertigteile für das ganze Bauwerk hergestellt werden oder es erfolgt die Fertigung und Auslieferung der Bauteile „Just in Time“ entsprechend des Fertigungsablaufes vor Ort.

Bauzustand 1 – Aufbau des südlichen Teilbauwerkes

Im ersten Schritt wird die bauzeitlichen Verkehrsführung eingerichtet, um Baufreiheit zum Einbau des ersten Teilbauwerkes zu erlangen. Dazu werden entsprechende Mittelstreifenüberfahrten hergestellt und beide Richtungsfahrbahnen auf der nördlichen Fahrbahn gebündelt. Wie dies geschehen soll, ist in Kapitel 5.1.2 dargestellt. Nachdem der Verkehr umverlegt wurde, werden die Bestandsfahrbahn und das Bestandsbauwerk rückgebaut. Bei der vorliegenden Konzeptbearbeitung wird davon ausgegangen, dass es sich beim Bestandsbauwerk um ein zweiteiliges Bauwerk handelt und damit aufwendige Rückbauzustände ausgeschlossen werden können. Gleichzeitig entsteht die Baugrube für das neue Bauwerk. Um die nebenliegende Richtungsfahrbahn weiterhin ohne

Einschränkung benutzen zu können, wird zwischen den Fahrbahnen ein Mittellängsverbau mit Rückverankerungen errichtet. Für den Rückbauzustand ist die unterführte Straße vollständig zu sperren. Nachdem die Baugrube ausgehoben wurde, erfolgt der Herstellung des Bodenaustausches mit Beton.

Auf dem Bodenaustausch werden die Fertigteilfundamente der Widerlager und Zwischenstütze in eine Montageschicht verlegt und ausgerichtet. Die zwei Fertigteilfundamente der Widerlager werden mit einer Ortbetongergänzung als ein Einzelfundament zusammengefasst. Nach dem Ausschalen und Hinterfüllen der Fundamente werden die Stahlbetonstützen der Widerlager und Pfeiler in die Köcherfundamente eingesetzt, ausgerichtet und vergossen. Auf den ausgerichteten und in der Höhe ausnivellierten Stützenköpfen werden die Auflagerträger aufgesetzt, ausgerichtet und im Bereich der Anschlussbewehrung vergossen. Bevor die Auflagerträger im Widerlagerbereich aufgesetzt werden können, er-

folgt die lagenweise Einschüttung und Verdichtung zwischen den Stützen. Die Herstellung der Widerlager wird mit der Errichtung der Kammerwände und Stummelflügel in Ortbeton abgeschlossen.

Auf den Auflagerbänken werden entsprechende temporäre Auflagerpunkte errichtet, auf denen die Längsträger aufgesetzt werden können. Als erstes werden die Längsträger des ersten Feldes, welche bis in das zweite Feld ragen, montiert, ausgerichtet und durch den Einbau der Querträger miteinander verbunden. Es schließt sich der Einbau der Hauptträger des zweiten Feldes an. Diese werden mithilfe einer temporär vorhandenen Knagge auf dem überstehenden Ende des zuvor eingebauten Hauptträgers aufgelegt, gesichert und durch Verspannen der Kopfplatten mit diesem verbunden. Es schließt sich der Einbau der Querträger an. Vor dem Auflegen der Plattenelemente wird die Position der Stahlträgerkonstruktion noch einmal geprüft und falls notwendig justiert. Im Anschluss werden die Plattenelemente aufgelegt und ausgerichtet. Nach

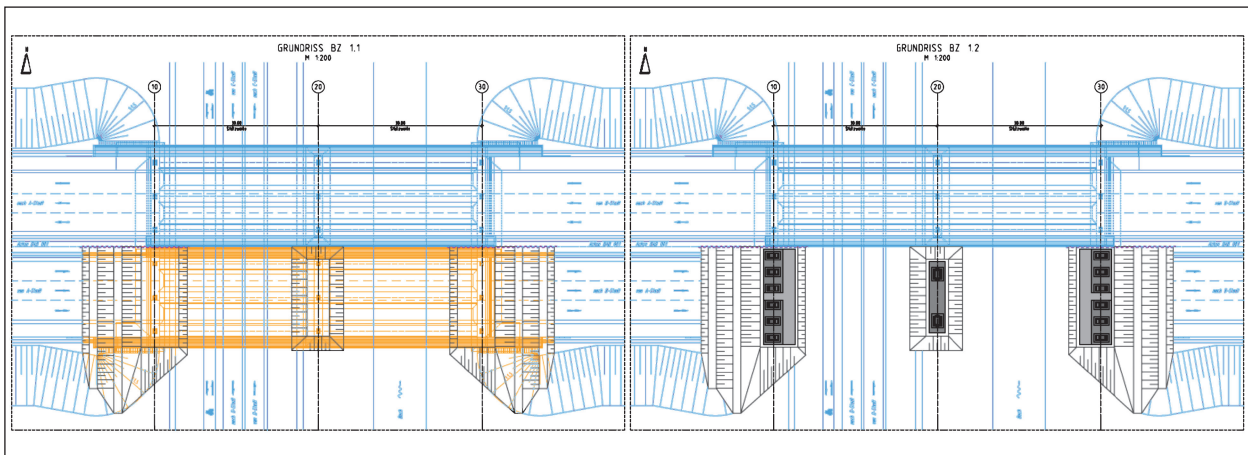


Bild 6-37: Aufbau des südlichen Teilbauwerkes I

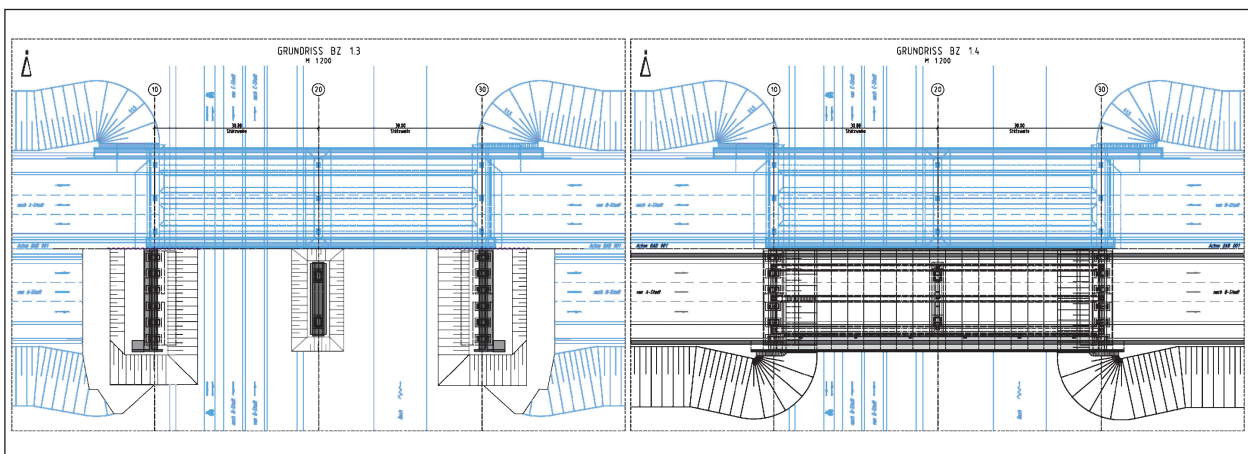


Bild 6-38: Aufbau des südlichen Teilbauwerkes II

der Positionierung werden die Spannglieder eingebaut und die Plattenelemente miteinander verspannt. Im letzten Schritt der Überbauerstellung werden die Verbundkanäle verpresst. Der fertiggestellte Überbau kann auf Lager abgesetzt und mit den Übergangskonstruktionen ausgestattet werden.

Nach dem Rückbau der notwendigen Baubehelfe erfolgt der weitere Aufbau der Hinterfüllung und Entwässerung. In einem letzten Schritt wird noch die Fahrbahn auf dem Brückenbauwerk und im Anschlussbereich hergestellt und das Gelände sowie die Schutzeinrichtungen aufgebaut. Das Einzelfundament zum Verankern der Betonschutzwand wird mit dem Aufbau der Hinterfüllung als Fertigteil mit versetzt.

Anschließend kann die bauzeitliche Verkehrsführung aufgehoben und die Richtungsfahrbahn wieder in die eigentliche Lage rückverlegt werden.

Bauzustand 2 – Aufbau des nördlichen Teilbauwerkes

Der Aufbau des nördlichen Bauwerkes erfolgt analog des südlichen Teilbauwerkes.

Erzielbare Vorteile hinsichtlich Bauzeit und Verkehrseinschränkung

Auf Grundlage der in Kapitel 5.1 dargestellten Grobbauabläufe und in Anlage 2 hinterlegten Datenbank zur Berechnung der Grobbauabläufe wurde die Bauzeit für diesen konkreten Fall ermittelt. Mit dieser Variante wird gegenüber dem herkömmlichen Vorgehen die Gesamtbauzeit vor Ort und damit einhergehend die Bauzeit mit Verkehrseinschränkungen um 43 Wochen reduziert werden. Die Verkehrseinschränkungen können damit um 50 Prozent reduziert werden. Die Variante wird damit den Anforderungen der Aufgabenstellung gerecht.

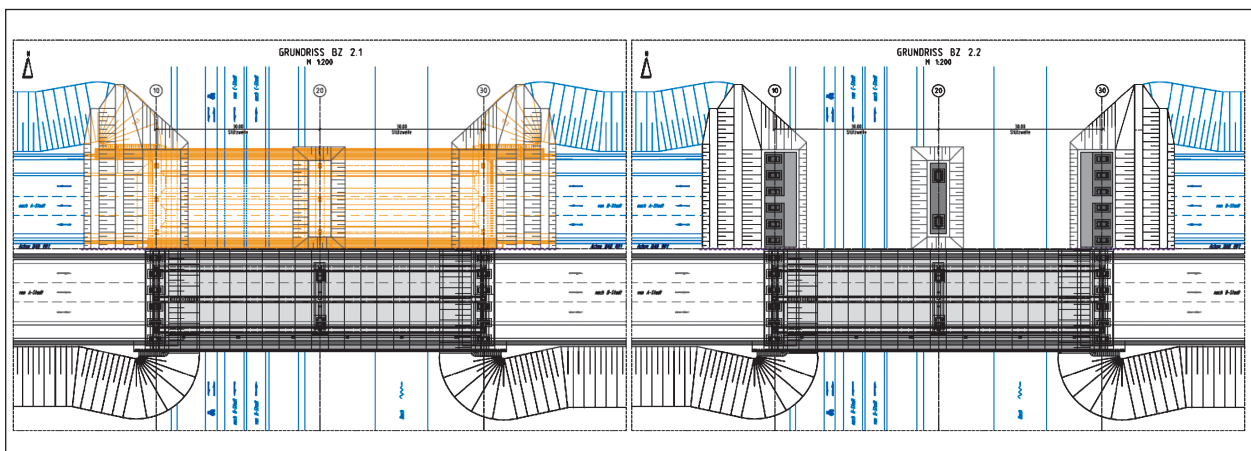


Bild 6-39: Aufbau des nördlichen Teilbauwerkes I

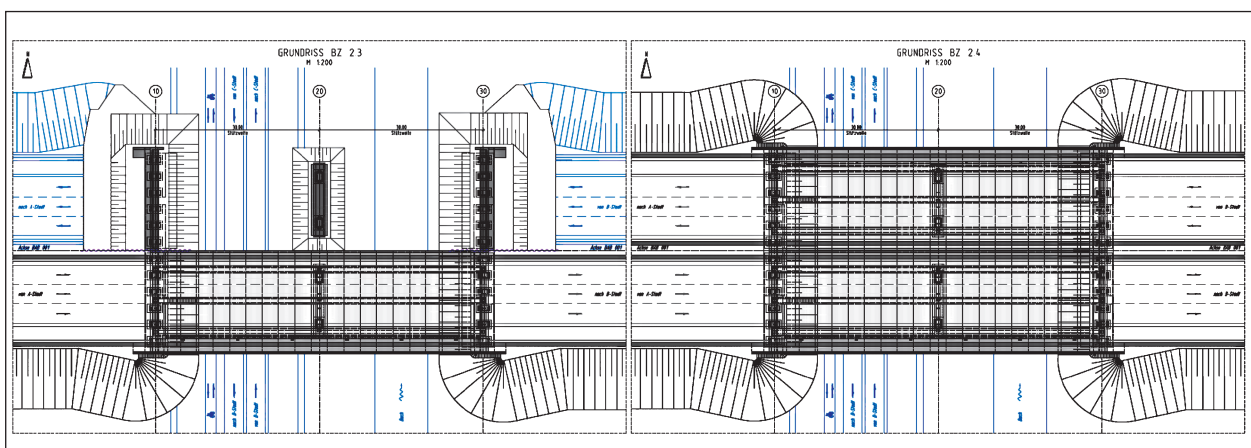


Bild 6-40: Aufbau des nördlichen Teilbauwerkes II

	Zweifeldbauwerk bis 70 m	
	konserv.	Innovativ
Bauausführung 1. Richtungsfahrbahn		
Mittelstreifenüberfahrt, BE, Verbau, Rückbau, Baugrube	5	
Herstellung der Unterbauten in Endlage	15,5	3,25
Herstellung der Überbauten in Endlage	16,5	7,3
Hinterfüllung, Entwässerung, ggf. Schleppplatte, Brückenausstattung, Fahrbahn, BE räumen, Verkehrsführung aufheben	6	
Summe der Bauzeit unter Sperrung der Richtungsfahrbahn	43	22
Zeiteinsparung Sperrung je Richtungsfahrbahn in Wochen		21,50
Zeiteinsparung Sperrung je Richtungsfahrbahn in Prozent		50%
Gesamtbauzeit je Richtungsfahrbahn	58	37
Gesamtbauzeit je Richtungsfahrbahn in Prozent	100%	63%
Bauzeit gesamtes Bauwerk (Die Ausführungsplanung des 2. Teilbauwerkes läuft dabei parallel zur Ausführung des 1. Teilbauwerkes)	104	61
Sperrung Richtungsfahrbahn	43	22
Sperrung Gegenrichtungsfahrbahn	43	22
Sperrung Gesamt	86	43
Reduktion der Sperrung der Autobahn in Wochen		43,0
Reduktion der Sperrung in Prozent		50%

Bild 6-41: Bauzeit und Verkehrseinschränkung Bauwerk 3

6.4.7 Baukostenschätzung und Kostenvergleich zwischen Standard- und innovativen Vorgehen

Der innovative Lösungsansatz wurde mit hochgesetzten Widerlagern geplant. Dies hat zur Folge, dass, um die gleiche lichte Weite wie beim herkömmlichen Vorgehen zu erhalten, eine größere Stützweite des Überbaus erforderlich ist. Aus diesem Grund wurde bei der Betrachtung der Baukosten für die innovative Bauweise der Ansatz eines längeren Überbaus berücksichtigt. Für die Errichtung des Zweifeldbauwerkes werden für die herkömmliche Bauweise Baukosten in Höhe von 9.075 T€ abgeschätzt. Bei der Errichtung des Bauwerkes entsprechend der vorgestellten innovativen Bauweise wird von Baukosten in Höhe von 9.465 T€ ausgegangen. Damit sind die Kosten für die innovative Bauweise etwa 4 % höher als bei der herkömmlichen Bauweise. Der bautechnologische Mehraufwand für die Montage der Fertigteile mittels Hebeteknik wird durch den Entfall der Aufwendungen für entsprechende Traggerüste und Herstellung der Kappen neutralisiert. Gleichzeitig wird mit der Bauweise das Widerlager in Grundtragstrukturen aufgelöst, was dazu führt, dass der Primärbaustoffbedarf von Beton zur Er-

richtung der Widerlager um ca. 35 % reduziert werden kann. Einher gehen damit auch kostenseitige Einsparungen. Neben dem Vorteil, dass mit der Variante die Straßensperrungen um ca. 50 % reduziert werden, ist bei Anwendung der innovativen Bauweise nicht von spürbaren Kostensteigerungen auszugehen (siehe Bild 6-42).

Die ausführliche Darstellung der Kostenberechnung ist in Anlage 5 hinterlegt.

6.4.8 Abweichungen zum Regelwerk

Die Variante ohne Kappen ist in der Form im Regelwerk noch nicht enthalten, weicht jedoch hinsichtlich der verwendeten Komponenten nicht vom Regelwerk ab. Eine Abweichung besteht zur RE-ING – Teil 2 Abschnitt 1.1 Abschnitt (6) [3]. Darin enthalten ist, dass die Kappe in Ortbeton zu planen ist. Das ist hier nicht der Fall, da das Gesims im Fertigteil integriert ist und auf die Kappe verzichtet wird. Die vorgesehene Art der Betonschutzwand ist für den Anwendungsfall Brücke noch nicht abschließend geklärt. Hier ist im Ausführungsfalle gegebenenfalls die Zustimmung im Einzelfall einzuholen.

Kostenschätzung Ingenieurbau	Bauwerk 3 - Zweifeldbauwerk bis 70m			
	herkömmliche Bauweise		neue Bauweise	
	Länge	50 m	Länge	62 m
	Breite	37,1 m	Breite	37,9 m
Inhalt	Kosten [T€]		Kosten [T€]	
1 Baufeldfreimachung	69		69	
2 Baugruben, Wasserhaltung, Hinterfüllung	925		949	
3 Baugrubensicherung, Vershub	160		469	
4 Gerüste, Abbruch	767		612	
5 Beton, Stahlbeton, Spannbeton	2.970		1.526	
6 Entwässerung	30		30	
7 Stahlbau, Lager, ÜKO, SE, Geländer	213		1.633	
8 Oberflächen- und Korrosionsschutz, Abdichtung, Deckschicht	509		588	
9 Sonstige Bauleistungen	4		20	
10 Baustelleneinrichtung	565		590	
11 Verkehrssicherung	125		125	
12 Sonstige Baunebenkosten	219		227	
13 Technische Bearbeitung (AG und AN)	847		884	
Summe	7.404		7.722	
3% Kleinleistg.	222		232	
Baukosten (netto)	7.626		7.954	
19% MWSt	1.449		1.511	
Baukosten (brutto)	9.075		9.465	
Fläche [m²]	1.855		2.350	
Baukosten, netto, abzügl. Techn. Bearbeitung	6.778		7.069	
Baukosten, netto / Bauwerksfläche [€/m²]	3.700		3.000	

Bild 6-42: Kostenschätzung Bauwerk 3 Zweifeldbauwerk

Gemäß RE-ING Abschnitt 2.1 [3] sind aufgelöste bzw. verschüttete Widerlager wegen aufwendiger Verdichtungsmaßnahmen zu vermeiden. Von diesem Grundsatz wird mit der vorgesehenen Widerlagerkonstruktion abgewichen. Durch die Art der Konstruktion hält sich der Aufwand für die Verdichtung jedoch in beherrschbaren Grenzen.

Die Verbundherstellung der Überbaufertigteile mit dem Verfahren der injizierten Fuge ist im Regelwerk bisher nicht enthalten.

6.4.9 Bewertung des Realisierungskonzeptes

Mit dem Realisierungskonzept wurde erreicht, dass durch Anwendung weitestgehend vorgefertigter Brückenfertigteile, für die Unterbauten in Form von Vollquerschnitten in Köcherfundamenten und für den Überbau in Form eines modularisierten Verbundquerschnittes die Bauzeit mit Verkehrseinschränkungen erheblich verringert werden konnte. Gleichzeitig sind dafür keine erheblichen monetären Mehraufwendungen erforderlich.

Durch Vorfertigung und Modularisierung des Bauwerkes und damit Verlagerung der Fertigung in ein Fertigteilwerk, konnte die Bauzeit vor Ort und die damit einhergehenden Witterungseinflüsse und Beeinflussung der Umgebung stark reduziert werden. Die Fertigung in einem Fertigteilwerk sollte auch der qualitativen Ausführung des Bauwerkes zuträglich sein. Gleichzeitig erfordert die Anwendung der modularen Bauweise einen gesteigerten Anspruch an die Ausführungstoleranzen und Sorgsamkeit bei der Montage der vorgefertigten Elemente, weil nur dadurch Baufehler vermieden und hochwertige sowie langlebige Bauwerke errichtet werden können. Die Anwendung der Bauweise der Gesimsaufkantung mit vorgestellter Betonschutzwand reduziert zusätzlich die Bauzeit mit Verkehrseinschränkungen.

Der Lösungsansatz der Gesimsaufkantung mit vorgestellter Betonschutzwand sollte zuerst in einem Pilotprojekt realisiert werden, um praktische Erfahrungen mit der Bauweise zu sammeln und die Überführung in eine Standardbauweise vorzubereiten.

Zu beachten ist bei dieser Art der baulichen Errichtung, dass durch die aufgelösten und aufgeständernten Widerlager die Länge des Überbaus vergrößert werden muss, um die gleiche lichte Weiten zwischen den Widerlagern wie mit der Kastenwiderlagerbauweise zu erhalten. Dies ist mit dieser Bauweise möglich. Je nach Überbauform kann eine weitere Stützenreihe am Böschungsfuß erforderlich werden, welche aber keinen großen Mehraufwand verursacht, da diese nur aus vier vorgefertigten Bauteilen besteht.

Die Ankerköpfe der Längsspannglieder, welche benötigt werden, um die Plattenelemente zusammenspannen und damit den Fugenbereich dauerhaft überdrücken zu können, befinden sich im Vergussbereich der Übergangskonstruktion. Nach dem Einbau der Übergangskonstruktion sind die Köpfe nicht mehr prüfbar. Falls ein Schaden an der Fugenkonstruktion festgestellt werden sollte, besteht die Möglichkeit durch Öffnen des Vergussbereichs, dass betroffene Spannglied zu tauschen.

Mit dem Konzept werden für den Überbau neue Bauweisen erforderlich, welche in dieser Form noch nicht realisiert worden sind. Der Lösungsansatz der injizierten Fuge zur Verbundherstellung beruht auf Untersuchungen in der Schweiz. Bis zur praxistauglichen Umsetzbarkeit des Lösungsansatzes ist noch umfangreiche Forschung zu betreiben. Die Anwendbarkeit dieser Verbundherstellung wird dadurch in absehbarer Zeit nicht möglich sein. Bis dahin kann das Konzept mit einer anderen im Kapitel 3.5.4 dargestellten Möglichkeit der nachträglichen Verbundherstellung ausgeführt werden.

Bei der Anwendung des Konzeptes für die Realisierung von Brückenbauwerken sollte ein Prüfreferat den Bau begleiten, um praktische Rückschlüsse ziehen und etwaige korrigierende Maßnahmen einleiten zu können. Auch die Abweichungen zum Regelwerk können damit hinsichtlich ihrer Relevanz validiert werden. Die Anwendung der Stützenwiderlager in Köcherfundamenten ist hingegen keine neue Bauweise, jedoch eine in Deutschland in den letzten Jahren nicht mehr praktizierte Bauweise. Von daher stehen für die Unterbauten keine Einschränkungen entgegen.

Bemerkenswert ist auch, dass mit dieser Bauweise der Primärbaustoffbedarf an Beton für die Unterbauten gesenkt werden kann. Durch die in seine Tragstrukturen aufgelöste Form der Widerlager und

die Bauweise ohne Kappen mit Gesims werden die Instandhaltungsaufwendungen auf lange Sicht gesenkt. Damit sinken gleichermaßen die Verkehrseinschränkungen für derartige Instandhaltungsmaßnahmen.

6.5 Bauwerk 4 – Dreifeldsystem mit einer Gesamtlänge von bis zu 100 m

6.5.1 Allgemeine Objektbeschreibung

Im Brückenbereich verläuft die Trasse der Autobahn in einer Geraden. Das Längsgefälle ist für den Musterfall mit 0,5 % angenommen. Das Bauwerk ist als flach gegründetes Dreifeldbauwerk mit einer Gesamtstützweite von 100 m geplant. Aus der im Feld durchgehend konstanten Konstruktionshöhe von 1,30 m des Überbaus resultiert eine Schlankheit von $33 \text{ m} / 1,30 \text{ m} = 25$. Im Bereich des Zwischenpfeilers ist der Überbauquerschnitt in Längsrichtung gevoutet ausgeführt und hat eine Konstruktionshöhe von 1,56 m.

Für die Autobahn wurde ein Querschnitt RQ 36 B der EKA 1 nach RAA – Richtlinie für die Anlage von Autobahnen festgelegt. Der Abstand zwischen den Borden beträgt hierbei 14,50 m. Der Mittelstreifenbereich beträgt 4,00 m.

Die Autobahn wird mit dem Brückenbauwerk im ersten Feld über einen vorhandenen Straßenverkehrsweg, im zweiten Feld über ein Gewässer und im dritten Feld über eine vorhandene Eisenbahnstrecke überführt.

Bautechnologisch ist vorgesehen, das Dreifeldbauwerk in Form von zwei unabhängigen Teilbauwerken je Richtungsfahrbahn zu erneuern. Die Unterbauten werden in der Bauweise Stahlbetonhohlquerschnitte mit hochgesetzten Widerlagern und der Überbau als neunstegiger Stahlverbundplattenbalken in der Bauweise Stahlverbundfertigteilträger mit Ortbetonergänzung ausgeführt. Dabei werden die jeweiligen Teilbauwerke im Fertigteilwerk vorgefertigt und während einer bauzeitlichen Verkehrsführung auf einem Teilbauwerk montiert und notwendige Ortbetonergänzungen vorgenommen. Die Montage der beiden Teilbauwerke erfolgt jeweils nacheinander, sodass die Autobahn immer verfügbar ist.

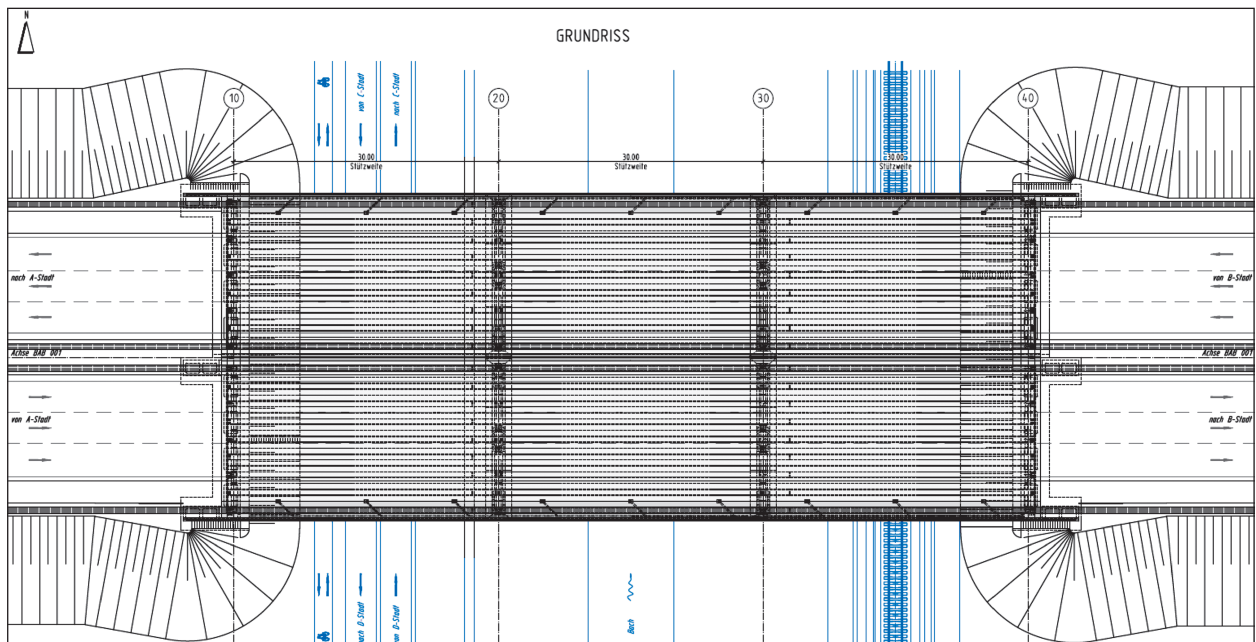


Bild 6-43: Grundriss Bauwerk 4 Dreifeldbauwerk

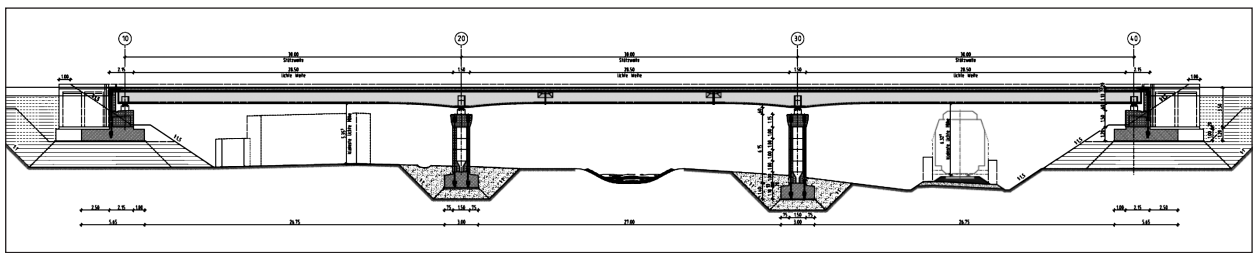


Bild 6-44: Längsschnitt Bauwerk 4

6.5.2 Gründung

Für den Referenzfall wird davon ausgegangen, dass im Gründungsbereich tragfähige Baugrundsicherungen vorhanden sind, auf welchen das Brückenbauwerk flach gegründet werden kann. Auch der Grundwasserleiter befindet sich unterhalb der geplanten Gründungsebene, sodass sich Wasserhaltungsmaßnahmen auf das während der Bau-durchführung zulaufende Oberflächenwasser beschränken und keine zusätzlichen Maßnahmen erfordern.

Die Pfeiler des Brückenbauwerkes werden auf einem 1 m mächtigen Bodenaustausch ca. 2,00 m unter der vorhandenen Geländeoberkante flach gegründet. Im Widerlagerbereich wird der Dammkörper mit geeigneten Erdbaubaustoffen, wie beispielsweise kiesig, sandige Böden der Bodengruppe GW/GI, lagenweise aufgebaut und verdichtet. Diese Dammschüttung stellt die Gründungsebene für die Widerlagerfundamente dar.

Die Fundamente der Widerlager und Pfeiler werden aufgrund der Größe als Ortbetonfundamente auf einer Sauberkeitsschicht hergestellt. Da die aufgehenden Bauteile als Fertigteillösung auf die Gründungkörper aufgesetzt und mit diesen verankert werden sollen, erfolgt in den Fundamenten der Einbau von Festankern und Ankerstangen, an denen dann nach der Montage die aufgehenden Elemente angeschlossen werden.

Die Fundamente werden in Stahlbetonbauweise der Druckfestigkeitsklasse C30/37 mit den Expositionsklassen XC2, XD1 und XF2 und Bewehrungsstahl B 500 B errichtet.

6.5.3 Unterbauten

Widerlager

Die Bauteile des Widerlagers werden vollständig im Fertigteilwerk in Form von drei Einzelteilen je Widerlager vorgefertigt. Im Einzelnen gibt es das Bau-

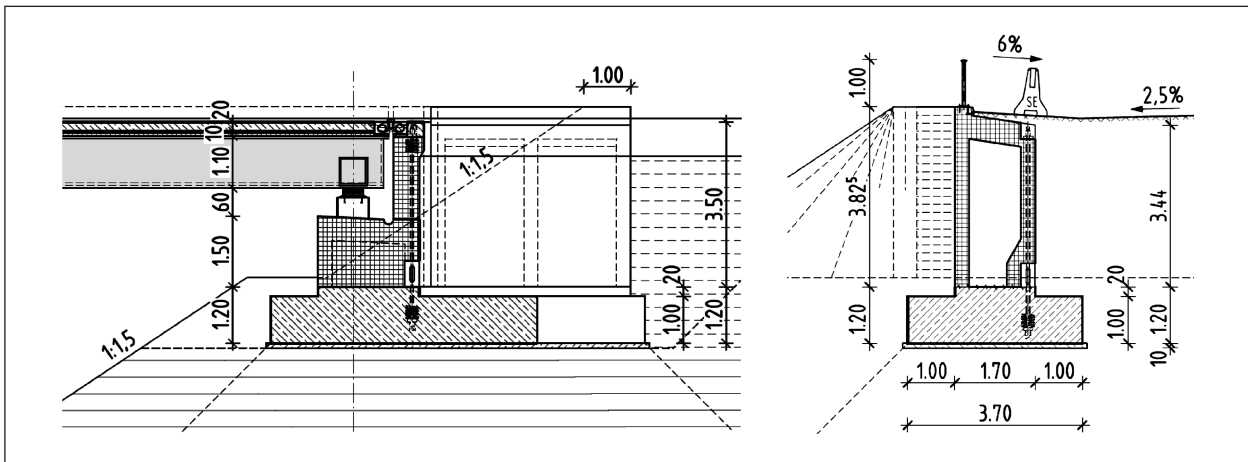


Bild 6-45: Schnitt Widerlager

teil der Auflagerbank, der Kammerwand und der Flügelwand. Auf der Baustelle werden diese dann auf das Ortbetonfundament aufgesetzt und durch Einbau von Ankerstangen mit diesem verbunden. In die Elemente der Auflagerbank und des Flügelelementes werden Hohlkörper in Form von Polystyrol-Hartschaumblöcken mit geschlossener Zellstruktur eingebaut. Der Einbau der Hohlkörper erfolgt, um das Transportgewicht zu reduzieren. Die geschlossene Zellstruktur verhindert, dass sich in den Hohlkörpern Wasser ansammeln kann. Für das Teilbauwerk, welches zuerst errichtet wird, erfolgt noch die Ausführung eines Hilfsflügels zur Absicherung des 2. Bauzustandes.

Um die Verankerung einbauen zu können, sind in den Fertigteilen entsprechende Hüllrohre und Montageöffnungen vorgesehen. Im unteren Bereich der Fertigteile werden die Ankerstangen mit Muffen an die im Fundament eingebaute Bewehrung angeschlossen. Im Vergussbereich der Übergangskonstruktion wird der Ankerkopf der Ankerstangen des Widerlagerfertigteiltes eingebaut. Mit den Ankerstangen werden die Auflagerbank und die Kammerwand zusammengespannt und mit dem Fundament verbunden. Mit dem Einbau der Übergangskonstruktion werden die Ankerköpfe vergossen. Im Flügelelement werden die Ankerköpfe in entsprechenden Nischen eingebaut, welche nach der Montage mit Beton ausgegossen werden. Alle Ankerstangen werden mit einer Korrosionsschutzhülle aus PE ausgeführt, um die Dauerhaftigkeit sicherzustellen. Die Hüllrohre werden nicht verpresst und bleiben frei.

Zur Übertragung von Horizontalkräften sind an den Fertigteilunterseiten entsprechende Schubnocken angebaut. Im Fundamentbereich greifen die No-

cken in dafür hergestellte Aussparungen. Diese werden nach der Montage der Elemente samt der Aufstandsfläche vergossen.

Für die Bauteile der Widerlager wird ein Beton der Betondruckfestigkeitsklasse C 40/50 mit den Expositionsklassen XC4, XD2 und XF2 und Bewehrungsstahl B 500 B vorgesehen.

Pfeiler

Die Bauteile der aufgelösten Pfeiler werden vollständig im Fertigteilwerk hergestellt. Im Einzelnen gibt es Pfeilerunterteile, Zwischenelemente und einen Auflagerträger. Auf der Baustelle werden diese dann auf das Ortbetonfundament aufgesetzt, gestapelt und durch Einbau von Ankerstangen mit diesem verbunden. Die Pfeilerunterteile und Zwischenelemente sind als Kastenquerschnitt ausgebildet, um das Transportgewicht zu reduzieren und die Montage erleichtern zu können. Durch die Ausführung von Zwischenelementen können mit dieser Bauweise auch leicht höhere Stützenquerschnitte (Bild 6-44) mit der gleichen Schalungsform hergestellt werden. Damit ist die Bauweise auch bestens geeignet, um Durchlaufbauwerke mit mehreren und vor allem unterschiedlichen Stützhöhen herstellen (Bild 6-46.) zu können. Die unterschiedlichen Stützhöhen werden hierbei durch Einbau weiterer Zwischenelemente ausgeführt. Der Hohlquerschnitt bleibt in diesen Elementen frei. Um das Aufstauen von Wasser zu verhindern, wird im Pfeilerunterteil eine äußerlich mit einem Gitter verwahrte Ausflussöffnung ausgeführt.

Um die Verankerung einbauen zu können, sind in den Fertigteilen entsprechende Hüllrohre und Montageöffnungen vorgesehen. Im unteren Bereich der

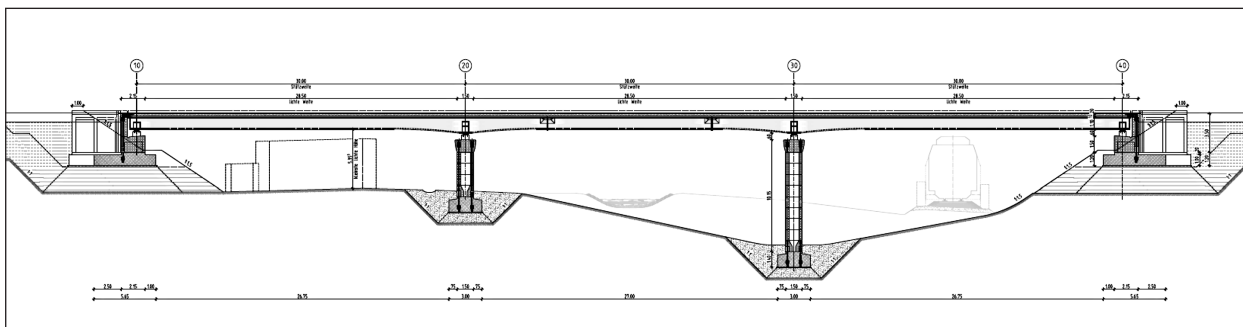


Bild 6-46: Längsschnitt Bauwerk 4 (höhere Stützen)

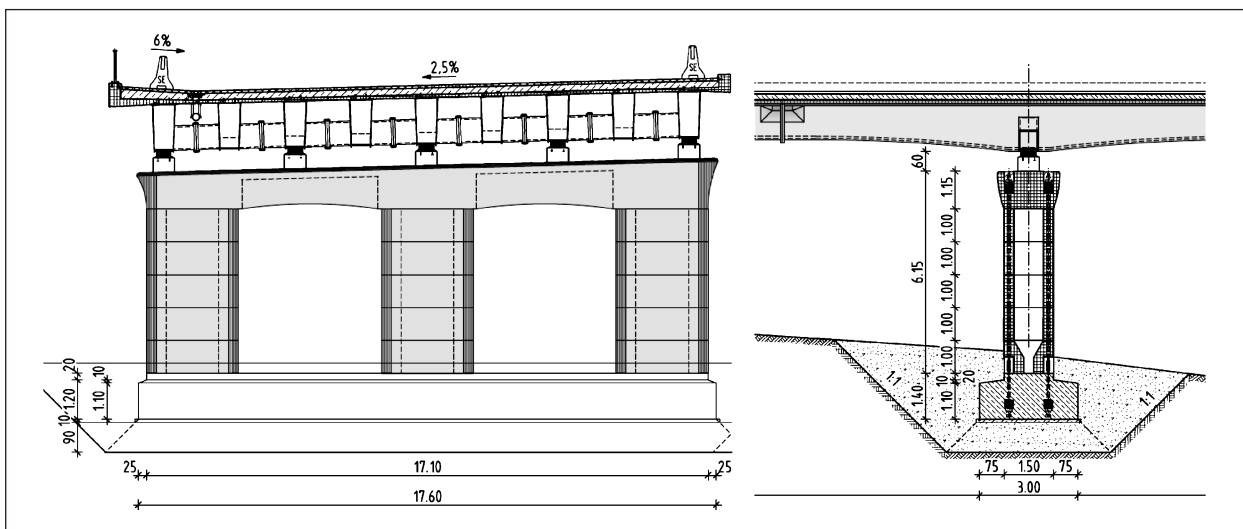


Bild 6-47: Details – Schnitt Pfeiler

Fertigteile werden die Ankerstangen mit Muffen an die im Fundament eingebaute Bewehrung angeschlossen. Im Auflagerträger werden die Ankerköpfe der Ankerstangen in entsprechend dafür hergestellte Nischen eingebaut. Mit den Ankerstangen werden die einzelnen Elemente zusammenge-spannt und mit dem Fundament verbunden. Die Nischen werden nach der Montage mit Beton vergossen, sodass der Ankerkopf dauerhaft konserviert wird.

Zur Übertragung von Horizontalkräften sind an den Fertigteilunterseiten entsprechende Schubnocken angebaut. Auf der Fertigteiloberseite ist das entsprechende Gegenstück vorhanden, in dem die Nocke eingreift. Das Gegenstück und die Kontaktflächen sind derart präzise hergestellt, dass der Stoß der Elemente in Form einer Trockenfuge erfolgen kann. Bei schwierigen geometrischen Formen ist die Nacharbeit mittels CNC-gesteuerter Frästechnik notwendig. Im Fundamentbereich greifen die Nocken in dafür hergestellte Aussparungen. Diese werden nach der Montage der Elemente samt der Aufstandsfläche vergossen.

Für die Bauteile der Pfeiler wird ein Beton der Betondruckfestigkeitsklasse C 40/50 mit den Expositionsklassen XC4, XD2 und XF2 und Bewehrungsstahl B 500 B vorgesehen.

6.5.4 Überbau

Tragkonstruktion

Der Überbau des Dreifeldbauwerkes wird als neunstegiger Stahlverbundplattenbalken ausgeführt (Bild 6-48). Um die Vorfertigung zu erhöhen, wird der Stahlbetonverbundquerschnitt durch Stahlverbundfertigteilträger mit Ortbetonergänzung ausgeführt.

Die Stahlträger werden als dicht geschweißter Hohlkasten in Trapezform hergestellt, auf denen der Betongurt im Fertigteilwerk aufgebracht wird. Der Überbau soll in der Bauweise ohne Kappe hergestellt werden. Aus diesem Grund wird der Betongurt des Rand- und Mittelträgers mit einer Gimsaufkantung hergestellt, um die Bauweise Gimsaufkantung mit vorgestellter Betonschutzwand

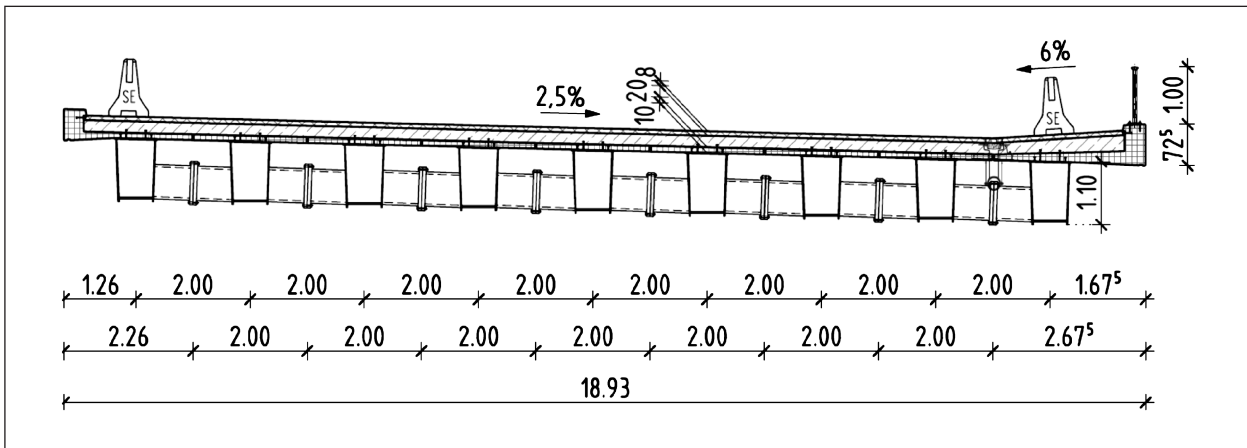


Bild 6-48: Querschnitt Überbau

ausführen zu können. Im Feldbereich verläuft der Querschnitt mit konstanter Höhe und voutet sich im Bereich der Mittelstütze im Radius auf. Um transportierbare Trägerlängen zu erhalten, wird der jeweilige Längsträger in drei Teile unterteilt, welche im Mittelfeld gestoßen werden. Der Stoß der Trägerelemente erfolgt mittels Kopfplattenstoß (analog Bauwerk 3, Bild 6-36) unter Verwendung von HV-Schrauben. Der Aufbau der Beschichtung kann dadurch schon vollständig im Werk erfolgen. Die Verbindung der einzelnen Träger untereinander erfolgt mit Stahlquerträgern in den Lagerachsen. Die Querträger werden ebenfalls in dicht geschweißter Hohlkastenform ausgebildet. Um die Montage vor Ort zu vereinfachen und Schweißarbeiten zu vermeiden, werden an den Hauptträgern Endquer- beziehungsweise Querträgerstummel bereits im Werk angeschweißt. Die Verbindung der Stummel erfolgt mittels eines Kopfplattenstoßes unter Verwendung von HV-Schrauben.

Nach der Montage der Fertigteilträger wird die Ortbetonergänzung hergestellt. Aufgrund der Ausführung der Bauweise ohne Kappe, kann die seitliche Abschaltung des Überbaus zur Herstellung der Ortbetonergänzung entfallen und dadurch die Herstellung beschleunigt werden.

Der Betongurt des Fertigteilträgers wird in einer Betondruckfestigkeitsklasse C 40/50 mit den Expositionsklassen XC4, XD1, XF2 ausgeführt. Abweichend dazu wird die Gesimsaufkantung in den Expositionsklassen XC4, XD3, XF4 ausgeführt. Die Ortbetonergänzung wird davon abweichend in der Betondruckfestigkeitsklasse C 35/45 ausgeführt. Als schlaffe Bewehrung wird Betonstahl B 500 B vorgesehen. Im Bereich der Gesimsaufkantung

wird Bewehrungsstahl mit einem hohem Korrosionswiderstand der Werkstoffnummer 1.4003 verwendet, um die Dauerhaftigkeit der Konstruktion sicherzustellen. Die Stahlträger werden mit Baustahl der Sorte S355 J2 + N hergestellt.

Lager, Gelenke

Das Dreifeldbauwerk wird mittels Elastomerlager auf den Unterbauten aufgelagert. Diese befinden sich im Lagerungspunkt jeweils direkt unter jedem zweiten Hauptträger. In Längsrichtung wird das Festlager in der Achse 20 – der Mittelstütze ausgeführt. In Querrichtung werden die Festlager an den Lagern im Bereich des Mittelstreifens angeordnet, um Bewegungen der Teilbauwerke zueinander auszuschließen.

Fahrbahnkonstruktion

Im Bereich der Widerlagerachsen 10 und 40 wird eine Übergangskonstruktion gemäß Richtzeichnung Übe 1 [12] eingebaut.

Abdichtung, Belag

Auf dem Überbau wird eine Abdichtung und ein Belag nach ZTV-ING 7-1 [14] und Richtzeichnung Dicht 3 [12] ausgeführt. Um den Baufortschritt zu beschleunigen, wird die junge Betonfläche – Betonalter ≥ 7 Tage – nach dem Betonieren gemäß ZTV-ING Teil 7, Abschnitt 1.5.1 [14] versiegelt.

Die seitliche Verwahrung der Abdichtung erfolgt analog zum Bauwerk 1.

Die vertikale Fuge zwischen den Widerlagerelementen der Teilbauwerke und die zwischen den Wi-

derlager- und Flügelementen wird erdseitig mit einem Klemmfugenband geschlossen.

Korrosionsschutz, Schutz gegen Umwelteinflüsse

Die Konservierung der Stahlträger ist mit einer organischen Beschichtung nach ZTV-ING Teil 4, Abschnitt 3 [14] vorgesehen. Die Innenseite des Hohlkastens wird ohne Beschichtung ausgeführt, da dieser luftdicht verschweißt wurde.

6.5.5 Entwässerung; Rückhaltesysteme, Schutzeinrichtungen und Zugänglichkeit

Die Beschreibung der Kapitel Entwässerung, Rückhaltesysteme, Schutzeinrichtung und Zugänglichkeit der Konstruktionsteile ist an dieser Stelle entbehrlich, da diese im Wesentlichen analog zum Bauwerk 1 sind und in diesen entsprechenden Abschnitten nachgelesen werden können.

6.5.6 Herstellung Bauzeit

Baublauf, Bauzeit

Mit der Bauweise wird die Fertigung der Bauteile des Bauwerkes in ein Fertigteilwerk verlagert. Vor Ort erfolgen dann nur noch die Herstellung der Fundamente in Ortbetonbauweise, Montage und die Fügung der Fertigteile untereinander, sowie die Herstellung der Ortbetonergänzung im Überbaubereich. Dabei werden die Fertigteile der Teilbauwerke der Richtungsfahrbahnen nacheinander aufgebaut, um die Verfügbarkeit der Autobahn während der ganzen Bautätigkeit absichern zu können. Die Verlagerung der Fertigung in ein Fertigteilwerk trägt wesentlich zum Erreichen des Projektzieles bei.

Die Errichtung des Brückenbauwerkes unterteilt sich in drei Bauzustände, welche nachfolgend beschrieben werden.

Bauzustand 0 – Vorfertigung

Vorgelagert zur Bautätigkeit vor Ort erfolgt die Vorfertigung der Bauteile in einem Fertigteilwerk und einem Stahlbaubetrieb. Je nach Lagerkapazität können die Fertigteile für das ganze Bauwerk hergestellt werden oder es erfolgt die Fertigung und in Auslieferung der Bauteile „Just in Time“ entsprechend des Fertigungsablaufes vor Ort.

Bauzustand 1 – Aufbau des südlichen Teilbauwerkes

Im ersten Schritt wird die bauzeitlichen Verkehrsführung eingerichtet, um Baufreiheit zum Einbau des ersten Teilbauwerkes zu erlangen. Dazu werden entsprechende Mittelstreifenüberfahrten hergestellt und beide Richtungsfahrbahnen auf der nördlichen Fahrbahn gebündelt. Wie dies geschehen soll, ist in Kapitel 5.1.2 dargestellt. Nachdem der Verkehr umverlegt wurde, werden die Bestandsfahrbahn und das Bestandsbauwerk rückgebaut. Bei der vorliegenden Konzeptbearbeitung wird davon ausgegangen, dass es sich beim Bestandsbauwerk um ein zweiteiliges Bauwerk handelt und damit aufwendige Rückbauzustände ausgeschlossen werden können. Gleichzeitig entsteht die Baugrube für das neue Bauwerk. Um die nebenliegende Richtungsfahrbahn weiterhin ohne Einschränkung benutzen zu können, wird zwischen den Fahrbahnen ein Mittellängsverbau mit Rückverankerungen errichtet. Für den Rückbauzustand sind die unterführten Verkehrswege vollständig zu sperren. Nachdem die Baugrube ausgehoben wurde, erfolgt die Herstellung des Bodenaustausches.

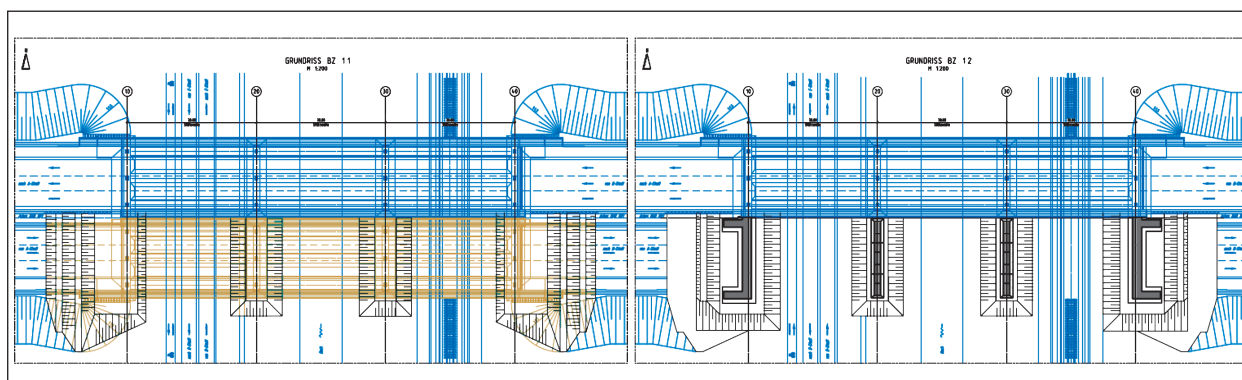


Bild 6-49: Aufbau des südlichen Teilbauwerkes I

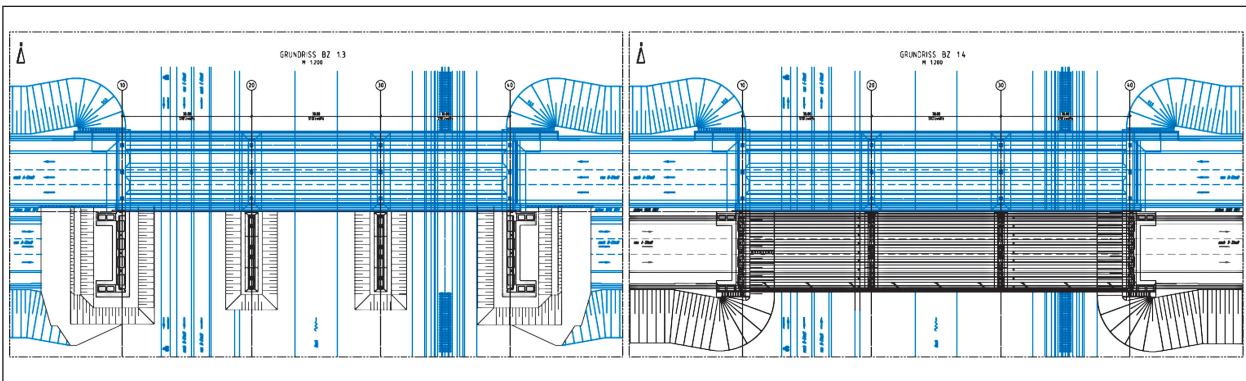


Bild 6-50: Aufbau des südlichen Teilbauwerkes II

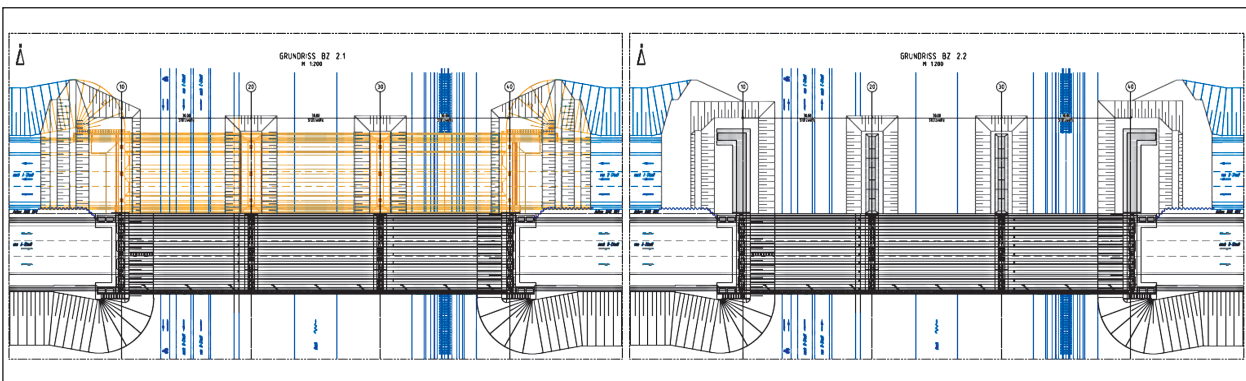


Bild 6-51: Aufbau des nördlichen Teilbauwerkes I

Auf dem Bodenaustausch werden die Gründungskörper für die Widerlager und Zwischenunterstützung errichtet. An wenigen Tagen können die Fertigteile für die Stützen und Widerlager mittels Mobilkran aufgebaut und anschließend verspannt werden. Im Anschluss werden Traggerüststützen mit Jochträgern vor den Unterbauten aufgestellt und auf diesen die Verbundfertigteilträger verlegt, ausgerichtet, justiert und miteinander verbunden. Dabei erfolgt die Montage der Endfelder zuerst. Die Träger des Mittelfeldes werden zum Schluss eingehoben und mittels einer Kragtraverse auf die in das Mittelfeld überstehenden Träger der Endfelder aufgelegt. Nach dem Verschrauben der Kopfplattenstöße sind alle Fertigteilträger untereinander verbunden. Die Überbauerstellung wird mit Ausführung der Ortbetonherstellung abgeschlossen. Es erfolgen noch der Einbau der Lager und der Überbauerkonstruktionen sowie das Freisetzen des Überbaus.

Nachdem Rückbau der notwendigen Baubehelfe erfolgt der Aufbau der Hinterfüllung und Entwässerung. In einem letzten Schritt wird noch die Fahrbahn auf dem Brückenbauwerk und im Anschlussbereich hergestellt und das Gelände sowie die Schutzeinrichtungen aufgebaut. Das als Fertigteil

ausgeführte Einzelfundament zum Verankern der Betonschutzwand wird mit dem Aufbau der Hinterfüllung mit versetzt.

Anschließend kann die bauzeitliche Verkehrsführung aufgehoben und die Richtungsfahrbahn wieder in die eigentliche Lage rückverlegt werden.

Bauzustand 2 – Aufbau des nördlichen Teilbauwerkes

Der Aufbau des nördlichen Bauwerkes erfolgt analog des südlichen Teilbauwerkes. Hinzukommt, dass der Mittellängsverbau an den Hilfsflügel angeschlossen werden muss.

Erzielbare Vorteile hinsichtlich Bauzeit und Verkehrseinschränkung

Auf Grundlage der in Kapitel 5.1 dargestellten Grobbaubläufe und in Anlage 2 hinterlegten Datenbank zur Berechnung der Grobbaubläufe wurde die Bauzeit für diesen konkreten Fall ermittelt. Mit dieser Variante wird gegenüber dem herkömmlichen Vorgehen die Gesamtbauzeit vor Ort und damit einhergehend die Bauzeit mit Verkehrseinschränkungen um 43 Wochen reduziert. Die Verkehrsein-

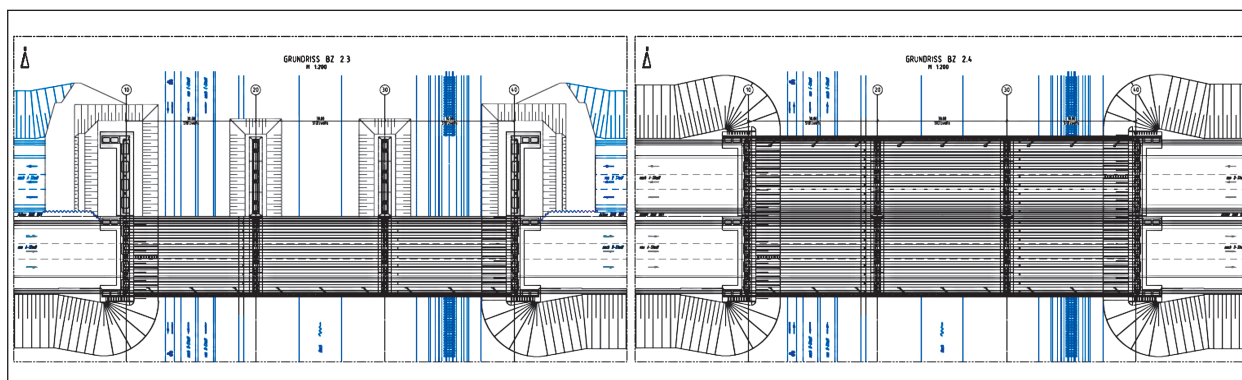


Bild 6-52: Aufbau des nördlichen Teilbauwerkes II

	Dreifeldbauwerk bis 100 m	
	konserv.	Innovativ
Bauausführung 1. Richtungsfahrbahn		
Mittelstreifenüberfahrt, BE, Verbau, Rückbau, Baugrube		6
Herstellung der Unterbauten in Endlage	19,5	6
Herstellung der Überbauten in Endlage	21	13,0
Hinterfüllung, Entwässerung, ggf. Schleppplatte, Brückenausstattung, Fahrbahn, BE räumen, Verkehrsführung aufheben		6
Summe der Bauzeit unter Sperrung der Richtungsfahrbahn	53	31
Zeiteinsparung Sperrung je Richtungsfahrbahn in Wochen		21,50
Zeiteinsparung Sperrung je Richtungsfahrbahn in Prozent		41%
Gesamtbauzeit je Richtungsfahrbahn	71	49
Gesamtbauzeit je Richtungsfahrbahn in Prozent	100%	70%
Bauzeit gesamtes Bauwerk (Die Ausführungsplanung des 2. Teilbauwerkes läuft dabei parallel zur Ausführung des 1. Teilbauwerkes)		
Sperrung Richtungsfahrbahn	53	31
Sperrung Gegenrichtungsfahrbahn	53	31
Sperrung Gesamt	105	62
Reduktion der Sperrung der Autobahn in Wochen		43,0
Reduktion der Sperrung in Prozent		41%

Bild 6-53: Bauzeit und Verkehrseinschränkung Bauwerk 4

schränkungen können damit um 41 Prozent reduziert werden. Die Variante wird damit den Anforderungen der Aufgabenstellung gerecht.

6.5.7 Baukostenschätzung und Kostenvergleich zwischen Standard- und innovativen Vorgehen

Der innovative Lösungsansatz wurde mit hochgesetzten Widerlagern geplant. Dies hat zur Folge, dass, um die gleiche lichte Weite wie beim herkömmlichen Vorgehen zu erhalten, eine größere Stützweite des Überbaus erforderlich ist. Aus diesem Grund wurde bei der Betrachtung der Baukos-

ten für die innovative Bauweise der Ansatz eines längeren Überbaus berücksichtigt. Für die Errichtung des Dreifeldbauwerkes werden für die herkömmliche Bauweise Baukosten in Höhe von 12.096 T€ abgeschätzt. Bei der Errichtung des Bauwerkes entsprechend der vorgestellten innovativen Bauweise wird von Baukosten in Höhe von 12.677 T€ ausgegangen. Damit sind die Kosten für die innovative Bauweise ca. 5 % höher, als bei der herkömmlichen Bauweise. Der bautechnologische Mehraufwand für die Montage der Fertigteile mittels Hebetchnik wird durch den Entfall der Aufwendungen für entsprechende Traggerüste und Herstellung der Kappen neutralisiert. Gleichzeitig wird mit der

Kostenschätzung Ingenieurbau	Bauwerk 4 - Dreifeldbauwerk bis 100m			
	herkömmliche Bauweise		neue Bauweise	
	Länge	80,8 m	Länge	92,8 m
	Breite	37,1 m	Breite	37,9 m
Inhalt	Kosten [T€]		Kosten [T€]	
1 Baufeldfreimachung	89		89	
2 Baugruben, Wasserhaltung, Hinterfüllung	1.009		946	
3 Baugrubensicherung, Vershub	160		424	
4 Gerüste, Abbruch	1.080		868	
5 Beton, Stahlbeton, Spannbeton	4.251		2.267	
6 Entwässerung	39		38	
7 Stahlbau, Lager, UKO, SE, Geländer	243		2.487	
8 Oberflächen- und Korrosionsschutz, Abdichtung, Deckschicht	678		785	
9 Sonstige Bauleistungen	4		20	
10 Baustelleneinrichtung	755		792	
11 Verkehrssicherung	150		150	
12 Sonstige Baunebenkosten	277		288	
13 Technische Bearbeitung (AG und AN)	1.133		1.189	
Summe	9.869		10.342	
3% Kleinleistg.	296		310	
Baukosten (netto)	10.165		10.653	
19% MWSt	1.931		2.024	
Baukosten (brutto)	12.096		12.677	
Fläche [m ²]	2.998		3.517	
Baukosten, netto, abzügl. Techn. Bearbeitung	9.032		9.464	
Baukosten, netto / Bauwerksfläche [€/m ²]	3.000		2.700	

Bild 6-54: Kostenschätzung Bauwerk 4 Dreifeldbauwerk

Bauweise das Widerlager in Grundtragstrukturen aufgelöst, was dazu führt, dass der Primärbaustoffbedarf von Beton zur Errichtung der Widerlager um ca. 40 % reduziert werden kann. Einher gehen damit auch kostenseitige Einsparungen. Neben dem Vorteil, dass mit der Variante die Straßensperrungen um ca. 41 % reduziert werden, ist bei Anwendung der innovativen Bauweise nicht von spürbaren Kostensteigerungen auszugehen.

Die ausführliche Darstellung der Kostenberechnung ist in Anlage 5 hinterlegt.

6.5.8 Abweichungen zum Regelwerk

Die Variante ohne Kappen ist in der Form im Regelwerk noch nicht enthalten, weicht jedoch hinsichtlich der verwendeten Komponenten nicht vom Regelwerk ab. Eine Abweichung besteht zur RE-ING – Teil 2 Abschnitt 1.1 Abschnitt (6) [3]. Darin enthalten ist, dass die Kappe in Ortbeton zu planen ist. Das

ist hier nicht der Fall, da das Gesims im Fertigteil integriert ist und auf die Kappe verzichtet wird. Die vorgesehene Art der Betonschutzwand ist für den Anwendungsfall Brücke noch nicht abschließend geklärt. Hier ist im Ausführungsfalle gegebenenfalls die Zustimmung im Einzelfall einzuholen.

Die Unterbauten enthalten nicht mehr zugängliche Hohlräume bzw. Verdrängungskörper, welche nach RE-ING Abschnitt 1.3.1 [3] nicht zugelassen sind. Durch die in den Hohlkörpern vorgesehenen Entwässerungsöffnungen wird die Abweichung als unkritisch eingeschätzt.

6.5.9 Bewertung des Realisierungskonzeptes

Mit dem Realisierungskonzept wurde erreicht, dass durch Anwendung weitestgehend vorgefertigter Brückenfertigteile, für die Unterbauten in Form von Hohlquerschnitten auf Ortbetonfundamenten und für den Überbau in Form von Verbundfertigteilträger

mit Ortbetoneergänzung die Bauzeit mit Verkehrseinschränkungen erheblich verringert werden konnte. Gleichzeitig sind dafür keine erheblichen monetären Mehraufwendungen erforderlich.

Durch Vorfertigung und Modularisierung des Bauwerkes und damit Verlagerung der Fertigung in ein Fertigteilwerk, konnte die Bauzeit vor Ort und die damit einhergehenden Witterungseinflüsse und Beeinflussung der Umgebung stark reduziert werden. Die Fertigung in einem Fertigteilwerk sollte auch der qualitativen Ausführung des Bauwerkes zuträglich sein. Gleichzeitig erfordert die Anwendung der modularen Bauweise einen gesteigerten Anspruch an die Ausführungstoleranzen und Sorgsamkeit bei der Montage der vorgefertigten Elemente, weil nur dadurch Baufehler vermieden und hochwertige sowie langlebige Bauwerke errichtet werden können. Die Anwendung der Bauweise der Gesimsaufkantung mit vorgestellter Betonschutzwand reduziert zusätzlich die Bauzeit mit Verkehrseinschränkungen. Gleichzeitig wird mit der Ortbetoneergänzung über den Fertigteilträgern im Bereich des Überbaus auf ein bewährtes jahrelang erprobtes Konstruktionsmittel gesetzt. Der diesbezügliche Zeitnachteil vor Ort wird durch Konstruktionselemente der Stahlquerträger und Versiegelung der jungen Betonfläche zur Reduzierung der Trockenzeit wieder minimiert.

Der Lösungsansatz der Gesimsaufkantung mit vorgestellter Betonschutzwand sollte zuerst in einem Pilotprojekt realisiert werden, um praktische Erfahrungen mit der Bauweise zu sammeln und die Überführung in eine Standardbauweise vorzubereiten.

Zu beachten ist bei dieser Art der baulichen Errichtung, dass durch die hochgesetzten Widerlager die Länge des Überbaus vergrößert werden muss, um die gleiche lichte Weite zwischen den Widerlagern wie bei der Bauweisen mit Kastenwiderlagern zu erhalten. Dies ist technisch möglich. Je nach Überbauform kann jedoch eine weitere Stützenreihe am Böschungsfuß erforderlich werden, welche aber keinen großen Mehraufwand verursacht, da diese nur aus wenigen vorgefertigten Bauteilen besteht.

Mit dem Konzept werden für die Unterbauten neue Bauweisen erforderlich, welche in Deutschland in dieser Form, bis auf wenige vergleichbare Ausnahmen, noch nicht realisiert wurden sind. Von daher sollte die Bauweise zunächst als Pilotprojekt angewendet werden. Ein Prüfreferat sollte den Bau begleiten, um praktische Rückschlüsse ziehen und

etwaige korrigierende Maßnahmen einleiten zu können. Auch die Abweichungen zum Regelwerk können damit hinsichtlich ihrer Relevanz validiert werden. Die Anwendung der Bauweise für den Überbau stellt keine neue Bauweise dar, wurde jedoch an den entscheidenden Stelle angepasst, um den Baufortschritt zu beschleunigen. Von daher stehen für die Überbauten keine Einschränkungen entgegen.

7 Konsequenzen für die Anwendung der Fertigteilbauweise – Qualitätssicherung, Fertigungsüberwachung, Toleranzen und zerstörungsfreie Prüfung

Für die Herstellung von Betonbrücken in Fertigteilbauweise werden gegenüber dem bisherigen Vorgehen erhöhte Anforderungen an die Toleranzgenauigkeit gestellt. Die Gründe sind, dass die vorfabrizierten Bauteile modular zusammengesetzt, über Trockenfugen oder Fugen mit einer dünnen Schicht Epoxidharzmörtel verbunden werden sollen und die Ausgleichsmöglichkeiten demzufolge gering sind. Damit die Montage der vorgefertigten Bauteile vor Ort ohne Störungen im Bauablauf geschehen kann und ein hohes Qualitätsniveau erreicht wird, muss der Fertigungsprozess im Fertigteilwerk, ähnlich wie es beim reinen Stahlbau schon seit jeher ist, einer umfassenden internen Qualitätskontrolle mit den Elementen der Fertigungsplanung, Maßkontrolle, Zerstörungsfreien Prüfung, Lagerungsanweisungen im Erhärtungsprozess für Betonbauteile und Probemontagen umgestellt werden. Dieses Vorgehen wird bei großen Fertigteilwerken in Grundzügen schon heute angewendet. Ergänzend sollte der Fertigungsprozess durch eine externe Fertigungsüberwachung und Qualitätssicherung überwacht werden, welche von der vertraglichen Abwicklung eines Bauvorhabens entkoppelt läuft, sodass vertragliche Zwänge die Form des Überwachungsprozesses nicht reglementieren.

Die Toleranzanforderungen an Betonfertigteile werden bisher regelwerkseitig nur in der DIN EN 13369 [37] – Allgemeine Regeln für Betonfertigteile behandelt. Die darin enthaltenen Toleranzanforderungen definieren allein geometrische Abweichungen des herzustellenden Gesamtquerschnitts hinsichtlich

Position	Toleranz
Fugenebenheit (Fe_RF und Fe_LF)	$\pm 0,5$ mm
Vertikaler Abstand der vierten Fertigteildecke von der Ebene, die von den drei anderen Ecken gebildet wird	$\pm 8,0$ mm
Fugenverschränkung Längsfuge (Fv_LF)	$\pm 0,3$ mm
Winkelabweichung der Längsfuge (Fugenkonizität Längsfuge (Fk_LF))	$\pm 0,7$ mm

Tab. 7-1: Prüfmaßtoleranzen

der Höhe und Breite in Abhängigkeit der herzustellenden Querschnittgröße.

Um die geometrische Passung der Elemente sicherzustellen, müssen für die Herstellung der Betonfertigteile weitere Anforderungen definiert werden. Zum einen könnten Teilaspekte der Herstellungstoleranzen für Tübbinge gemäß Teil 5-3, Abschnitt 7.2.5.1 der ZTV-ING [14] als Anforderung definiert werden.

Es sollten hierbei die Merkmale, zusammengefasst in Tabelle 7-1, berücksichtigt werden.

Weiterhin sollten noch Grundaspekte der DIN EN ISO 13920 [38] – Allgmeintoleranzen für Schweißkonstruktionen übernommen werden. Für die Prüfpunkte der Grenzabmaße für Längenmaße, Grenzabmaße für Winkelmaße, Geradheits-, Ebenheits- und Parallelitätstoleranzen sollten unter Beachtung der Bauteildimensionen sinnvolle Toleranzen festgelegt und je nach der Art der Fugenausbildung beziehungsweise des Fügeverfahrens der Fertigteile verschiedene Toleranzklassen zugeordnet werden.

Auch sollten vor der Serienfertigung von Bauteilen Probestücke hergestellt werden, um die Einhaltung der Anforderungen abgleichen zu können und Herstellungsanforderung an die Schalung, Verdichtung und Lagerung im Erhärtungsprozess der Bauteile definieren zu können.

Für die Herstellung von Bauteilen mit Hohlkörpern sollten zerstörungsfreie Prüfungen hinsichtlich der Überprüfung der Lagegenauigkeit der Hohlkörperlelemente vorgesehen werden. Zur Anwendung könnten hierfür das Ultraschall- oder Radarverfahren kommen. Dadurch können fehlerhafte Bauteile schon im Fertigungsprozess aussortiert und die Montage von fehlerhaften Bauteilen ausgeschlossen werden.

Die zuvor erläuterten Aspekte der Überwachung und Qualitätssicherung des Fertigungsablaufes bei

der Verwendung von Fertigteilen im Brückenbau, sollten in einem Technischen Regelwerk verankert werden, bevor die Umstellung des Herstellungsprozesses in größerem Umfang vorgenommen wird. Dadurch kann ein gleichbleibend hohes Qualitätsniveau in der Fertigung sichergestellt werden.

8 Anwendungsmöglichkeiten der Bauweise und Bauverfahren bei alleiniger Erneuerung der Unterbauten

Neben der Erneuerung von ganzen Brückenbauwerken ist es auch in vielen Fällen notwendig, die Unterbauten zustandsbedingt zu erneuern. Die Erneuerung der Unterbauten soll in gleichem Maße wie die Erneuerung von ganzen Brückenbauwerken möglichst geringe Verkehrseinschränkungen verursachen. Auch für die Erneuerung der Unterbauten können die aufgezeigten Bauweisen und Bauverfahren angewendet werden.

Es bietet sich an, die Unterbauten seitlich neben den Bestandsbauwerken je Teilbauwerk herkömmlich vorzufertigen und in einer Sperrung der betreffenden Richtungsfahrbahn und Führung des Verkehrs auf der nebenliegenden Fahrbahn die Unterbauten mit dem Verschiebverfahren gemäß Kapitel 4.2.2 quer einzuschieben. Für diesen Vorgang ist der betreffende Unterbau temporär abzustützen und falls Festlager durch den Rückbau des Bestandsbauteiles mit aufgelöst werden sollten, ist der Überbau bauzeitlich festzusetzen. Die Bauzeit und damit auch die Verkehrseinschränkungen reduzieren sich für diesen Fall um die Bauzeit der Neubauteile, wodurch die Sperrung der Richtungsfahrbahn um mehrere Wochen verkürzt werden kann.

Kombiniert werden kann die seitliche Vorfertigung durch zusätzliche Anwendung der Fertigteilbauweise – Vollquerschnitte in Köcherfundamente gemäß Kapitel 3.4.7 oder Unterbaufertigteile in Hohlkastenbauweise gemäß Kapitel 3.4.4 ff. Dadurch kann die Bauzeit vor Ort nochmals erheblich verkürzt werden. Auch ist es denkbar, die Pfeilererneuerung durch Anwendung der Bauweisen gemäß Kapitel 3.4.5 ff. und Montage der Elemente mittels mobiler Hebetchnik auszuführen. Dies würde die konstruktiven Aufwendungen für die Verschiebtechnik reduzieren, gleichzeitig muss unter dem Überbau aus-

reichend Platz zur Verfügung stehen. Somit ist dieses Vorgehen nicht für jeden Fall anwendbar.

9 Zusammenfassung und Ausblick

In dem vorliegenden Projekt wurden für den Ersatzneubau von Betonbrücken innovative und nachhaltige Bauweisen und Bauverfahren erarbeitet, welche die Verkehrseinschränkungen und die Bauzeit in der Endlage der Bauwerke stark verkürzen und sich dadurch vom dem derzeitigen Vorgehen erheblich unterscheiden. Dabei wurden die vier am häufigsten realisierten Systeme auf deutschen Autobahnen – Rahmen bis 30 m Stützweite, Einfeldbauwerke mit einer Gesamtlänge zwischen 10 m – 30 m, Zweifeldbauwerke mit einer Gesamtlänge bis 70 m und Dreifeldbauwerke mit einer Gesamtlänge von bis zu 100 m – betrachtet.

Die Bearbeitung erfolgte stufenweise. So wurde in dem ersten Abschnitt das derzeitige Vorgehen bei der Realisierung von Ersatzbauten dargestellt, erläutert und hinsichtlich der Verkehrseinschränkung bewertet. Festgestellt wurde, dass mit dem heutigen Vorgehen die Errichtung von Straßenbrücken überwiegend in der Lage der künftigen Nutzung erfolgt, sodass über die gesamte Bauzeit erhebliche Verkehrseinschränkungen und lange Bauzeiten vor Ort die Folge sind. Die Verwendung von vorgefertigten Bauteilen beschränkt sich auf Spannbetonfertigteile- und Verbundfertigteilträger für die Überbauten. Eine Standardisierung für gewisse Bauweisen ist nicht vorhanden.

Im zweiten Abschnitt erfolgte die Darstellung und Erläuterung von innovativen Ansätzen für die Realisierung von Ersatzneubauten von Brückenbauwerken hinsichtlich der Bauweisen und Bauverfahren. Dabei wurden jeweils getrennt für die Unter-, Überbauten und Kappen innovative Bauweisen dargestellt. Ebenso wurden für die Errichtung von Straßenbrücken innovative Bauverfahren, wie beispielsweise das Schubverfahren aufgezeigt und bewertet. Grundsätzlich sind die möglichen Bauweisen und Bauverfahren vergleichbar mit der Systematik eines Baukastensystems angelegt, wofür die jeweiligen Bauwerke entsprechend den örtlichen Randbedingungen für die Unter- und Überbauten sowie das zur Anwendung kommende Verfahren im Wesentlichen frei kombiniert werden können. Dies ist im Vergleich zu einer alleinigen Referenzlösung

für einen Anwendungsfall sehr vorteilhaft, weil dadurch eine gewisse Allgemeinwendbarkeit für verschiedenste Situationen und Tragwerke erreicht wurde.

Das derzeitige Vorgehen wurde im dritten Abschnitt mit den innovativen Ansätzen über eine Bewertungsmatrix verglichen und entsprechende Vorgehenslösungen herausgearbeitet. Die Nachhaltigkeit wurde im Bewertungsverfahren durch Berücksichtigung der fünf Säulen der Nachhaltigkeit (Ökologische Qualität, Ökonomische Qualität, Soziokulturelle und funktionale Qualität, Technische Qualität, Prozessqualität) nach [28] mit berücksichtigt. Ebenfalls wurden die externen Kosten bei der Realisierung von Brückenbauwerken durch Betrachtung möglicher volkswirtschaftlichen und ökologischen Kosten dargestellt. Im Ergebnis hat sich hierbei gezeigt, dass die externen Kosten eine nicht unwesentliche Größenordnung bei der Realisierung von Brückenbauwerken nach dem herkömmlichen Vorgehen darstellen, jedoch in der Projektabrechnung bisher nicht sichtbar werden. Schlussendlich wirken sich dadurch Bauweisen und Bauverfahren bei denen die bauzeitlichen Verkehrseinschränkung reduziert werden können volkswirtschaftlich günstig und für das Allgemeinwohl sowie für die Umwelt nachhaltig aus.

Für die vier Tragsysteme wurden auf Grundlage der bewerteten Varianten Bauweisen und Verfahren ausgewählt, mit denen Konzepte für die Realisierung erarbeitet worden sind. Im Einzelnen ist für jedes Tragsystem ein Konzept vergleichbar mit einem Bauwerksentwurf entwickelt worden. Im Ergebnis der Konzeptbearbeitung ist festzustellen, dass mit der Anwendung der innovativen Bauweisen und Bauverfahren die Verkehrseinschränkungen zwischen 40 % und 66 % reduziert werden können und die Lösungen damit dem Projektziel gerecht werden. Gleichzeitig führt die Verringerung der Verkehrseinschränkung dazu, dass die durch Brückenbaustellen verursachten CO₂-Emissionen erheblich reduziert werden können. Bei allen Tragsystemen wurde die Bauweise der Gesimsaufkantung mit vorgestellter Betonschutzwand angewendet, weil mit dieser Lösung die Kappe entfällt. Durch die zweckmäßige Stoffauswahl unterliegt das Gesims einem größeren Instandsetzungsintervall, wodurch wiederum auch Verkehrseinschränkungen während der Bauwerksnutzung reduziert werden können. Gleichzeitig kann dadurch die Nachhaltigkeit der Brückenbauwerke gefördert werden.

Die in den Realisierungskonzepten angewendeten Bauweisen und Bauverfahren sind schon jetzt in Teilaspekten vom Regelwerk mit abgedeckt und es liegen größtenteils Berechnungsansätze vor, sodass die sofortige Anwendbarkeit einzelner Möglichkeiten gegeben ist. Für die Verbundherstellung mit dem Verfahren der injizierten Fuge von auf der Baustelle zusammengesetzten Verbundbrücken besteht jedoch noch umfangreicher Forschungsbedarf. Dadurch wird die Anwendung dieser Technologie in absehbarer Zeit nicht gegeben sein. Der Lösungsansatz der Gesimsaufkantung mit vorgestellter Betonschutzwand sollte zuerst in einem Pilotprojekt realisiert werden, um praktische Erfahrungen mit der Bauweise zu sammeln und die Überführung in eine Standardbauweise vorzubereiten. Es müssen auch noch für die Fertigteilbauweise mit geringen Fugenbreiten separate Vorschriften mit Festlegung von Toleranzanforderung und Vorgaben für die interne Qualitätssicherung erarbeitet werden. Ebenso sind noch Berechnungsansätze der Ermüdungsfestigkeit von trockenen Fugen zu entwickeln. Zudem sollte der Fertigungsprozess durch eine externe Fertigungsüberwachung begleitet werden, welche unabhängig von der vertraglichen Abwicklung des Bauvorhabens eingeschaltet ist. Diese Maßnahmen können eine qualitativ hochwertige Herstellung der Brückenbauwerke sicherstellen und für eine Langlebigkeit der Bauwerke sorgen.

Die Baulastträger müssen für die künftigen Aufgaben beim Ersatzneubau von Brückenbauwerken vorbereitet sein. Um den schon jetzt vorhandenen Problemen mit den langen Bauzeiten und damit einhergehenden großen Verkehrseinschränkungen entgegenzuwirken, sollten erste Pilotprojekte mit Anwendung der aufgezeigten innovativen Bauweisen und Bauverfahren umgesetzt werden. Dadurch können sich die Baufirmen an die geänderten Anforderungen für die Produktionsprozesse und Fertigungstechnologien einstellen und gleichzeitig wird von allen Beteiligten die Bereitschaft zur Anwendung der Fertigteilbauweise eingefordert.

10 Nutzung bestehender Erfindungen, Schutzrechte und eigene Erfindungen, Schutzrechte

10.1 Nutzung bestehender Erfindungen und Schutzrechte

Nachfolgende Erfindungen können durch die Darstellung der innovativen Ansätze betroffen sein:

- Verfahren zur Herstellung von Fertigteilen für den Brückenbau und Fertigteilbrücke, DE 10 2015 011 452 A1 2017.03.02,
- Verfahren zur Herstellung einer Segmentfertigteilbrücke und Segmentfertigteilbrücke ; DE 10 2006 029 130 A1 2007.12.27,
- Modul zur Herstellung von Betonbauteilen; AT 009 706 U1 2008-02-15 und weiterführende gleiche Produkte des gleichen Anmelders,
- Verfahren zur Erstellung des Unterbaus einer Brücke, DE000002439466C3,
- Stahlbetonverbundbrücke mit horizontaler Verbundfuge und Verfahren zu ihrer Herstellung; DE 10 2008 007 815 A1,
- Segmentbrücke; DE 10 2016 121 713 A1,
- Brückenträger, Brückenelement und Brücke sowie Verfahren zur Herstellung dieser; DE 10 2018 100 643 A1.

10.2 Eigene Erfindungen und Schutzrechte, -anmeldungen

Keine

Literatur

- [1] FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Straßenentwurf, RAA Richtlinie für die Anlage von Autobahnen (R1), 2008
- [2] Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), 2018. [Online]. Available: https://www.bast.de/BASt_2017/DE/Statistik/Bruecken/Brueckenstatistik.pdf?__blob=publicationFile&v=11. [Zugriff am 13.12.2018]

- [3] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Richtlinie für den Entwurf, die konstruktive Ausbildung und Ausstattung von Ingenieurbauten (RE-ING), 2017
- [4] E. LEDERHOFER, R. RINGWALD & A. KARAKAS, FE-Nr. 15.0551/2012/NRB Machbarkeitsstudie zum nachhaltigen Ersatzneubau von Brücken „Die innovative Brücke“, BAST, München, 2013
- [5] Hessen Mobil – Straßen- und Verkehrsmanagement, Eigene Erhebung, Anfrage Straßenbaubehörden der Länder, 2018, S. 5
- [6] Ministerium für Bauwesen, VEB Typenprojektion, Zusammensetzbare Spannbeton-Hohlkastenträger für Überbauten von Straßenbrücken, Stützweite 10.000 bis 25.000 mm, Bd. KB 413.12, 1962
- [7] G. SEIDL; M. HIERL; M. BREU; M. MENSINGER; M. STAMBUK: Segmentbrücke Greißelbach als Stahlverbundbrücke ohne Abdichtung und Asphalt, Stahlbau 85 (2016), Heft 2, S. 126-136, 2016
- [8] P. DÖRR: A 46 ÜF Hammacher Straße, in s Technische Akademie Esslingen, 3. Brückenkolloquium, Frankfurt am Main, 2018
- [9] J. GREYER: Rückbau einer Spannbetonbrücke aus zusammengespannten Trägern des Typs BT 70 mit Versuchen, in s 6. Brückenbausymposium, Strausberg, 1996
- [10] G. MEYER: Sicherung von Randträgern bei Fertigteiltrassen BT 70 (700) und BT 50 (500), in s 5. Brückenbausymposium, Hildesheim/Schönebeck, 1995
- [11] Deutscher Bundestag 13. Wahlperiode: Zweiter Bericht über Schäden an Bauwerken der Bundesverkehrswege, Kapitel 3.2.3, Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH, Bonn, 1996
- [12] BAST: RIZ-ING – Richtzeichnung für Ingenieurbauten, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2018
- [13] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Merkblatt über Stützkonstruktionen aus stahlbewehrten Erdkörpern: M SASE, FGSV R2 – Regelwerke, Köln, 2010
- [14] BAST: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (ZTV-ING), 2017
- [15] H.-G. DAUNER: Klebetechnik für den schnellen und wirtschaftlichen Bau von Verbundbrücken, Stahlbau 75 (2006), Heft 7, S. 551-557, 2006
- [16] DiZWO GmbH: DiZWO GmbH, 2018. [Online]. Available: <http://www.dizwo.de/patente-loesungen/dizwo-system-kappen/>. [Zugriff am 16.04.2018]
- [17] Swiss Steel AG: Top12-500 Informationspaket, Schmolz + Bickenbach Group, Emmenbrücke, 2018
- [18] Hessen Mobil, Straßen- und Verkehrsmanagement, Dezernat BA 4, Planung Ingenieurbauwerke, He-Lsw 07 – Laermschutzwand Verankerung auf Bauwerk Lsw H > 4,50 m, Hessen, 2013
- [19] Bundesamt für Strassen ASTRA: Fachhandbuch K Kunstbauten (FHB K), Schweizer Eidgenossenschaft, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, 2019
- [20] DELTA BLOC International GmbH: Deltabloc, DB 120S, Technisches Produktdatenblatt, 2019. [Online]. Available: <https://www.deltabloc.com/de/product/db-120s>, [Zugriff am 18.01.2019]
- [21] FGSV, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Verkehrsmanagement: RPS, Richtlinien für passiven Schutz an Straßen durch Fahrzeug-Rückhaltesysteme, R1, Köln: FGSV Verlag, 2009
- [22] BAST: Ergänzende Kriterien zu Einsatzfreigabeverfahren für Fahrzeug-Rückhaltesysteme in Deutschland, 2012
- [23] Normenausschuss Bauwesen (NABau): DIN EN 1991-2:2010-12, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken; Deutsche Fassung EN 1991-2:2003 + AC:2010, Beuth Verlag, 2010
- [24] DB Netz AG: Richtlinie 804 – Eisenbahnbrücken (und sonstige Ingenieurbauwerke) planen, bauen und instandhalten, Frankfurt, 2018

- [25] M. SEIDEL: Systematik von Versuchs-systemen im Brückenbau und Variantenuntersuchung stählerner Vorbau-schnabelkonstruktionen, unter Beachtung entstehender Montage-zustände am Beispiel der Eisenbahnüberführung Stör, Diplomarbeit an der Hochschule Mittweida, Hannover, 2010
- [26] WKC Hamburg: KrBW Barmbek, 2017
- [27] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Abteilung Straßenbau, Straßenverkehr: RSA Richtlinie für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen, 1995
- [28] BAST: Entwicklung einheitlicher Bewertungskriterien für Infrastrukturbauwerke im Hinblick auf Nachhaltigkeit, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Brücken- und Ingenieurbau Heft B 125, 05 2016
- [29] T. ZINKE: Forschungsvorhaben: Ganzheitliche Bewertung von Stahl- und Verbundbrücken nach Kriterien der Nachhaltigkeit (NaBrü), Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe, 2011
- [30] ADAC e. V., Ressort Verkehr – Verkehrspolitik (VPO): Staubilanz 2017, 01 2018, [Online]. Available: https://www.adac.de/_mmm/pdf/statistik_staubilanz_231552.pdf. [Zugriff am 28.01.2019]
- [31] T. LATTMANN: Stau: Doppelter Benzinverbrauch, 15 02 2011. [Online]. Available: <https://www.ktipp.ch/artikel/d/stau-doppelter-benzinverbrauch/>. [Zugriff am 28.01.2019]
- [32] B. von BRACKEL: Preis für CO₂-Ausstoß wird steigen, 09 11 2017. [Online]. Available: <https://www.fr.de/wirtschaft/preis-co2-ausstoss-wird-steigen-11001434.html>. [Zugriff am 28.01.2019]
- [33] ECHTERHOFF, T.: Kolloquium „Wege aus dem Stau“, Echterhoff Bau-Gruppe, 23.08. 2011. [Online]. Available: https://www.bast.de/DE/Verkehrstechnik/Publikationen/Veranstaltungen/V1-Wege-aus-dem-Stau-2011/stau-vortrag-echterhoff.pdf?__blob=publicationFile&v=1. [Zugriff am 28.01.2019]
- [34] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: RAB-ING, Bast, 2018
- [35] D. SCHAARSCHMIDT: Entwurfskonzept – Bauwerk 2, Numerische Untersuchung, Ermüdungsverhalten von Betonfertigteil-Trockenfugen, Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Dresden, Dresden, 2019
- [36] M. GABLER; A. FAKHOURI; K. BAUMANN: Zur Gestaltung von Fertigteilbrücken, Bau-technik, Zeitschrift für den gesamten Ingenieurbau, Bd. 2/2019, pp. 142-149, 2019
- [37] DIN-Normenausschuss: Bauwesen (NABau): DIN EN 13369, Allgemeine Regeln für Betonfertigteile, 2017
- [38] DIN-Normenausschuss: Schweißen und verwandte Verfahren (NAS): DIN EN ISO 13920 Schweißen – Allgemeintoleranzen für Schweißkonstruktionen – Längen- und Winkelmaße; Form und Lage, 1996
- [39] Hartinger Consult: Bestandsübersichtszeichnung, Bauwerk 02 Bahnbrücke Heidenheimer Straße, Thannhausen: Stadt Günzberg, TBA, 2005
- [40] DB Netz AG: Bestandsplan Viadukt Angelrode, km 5,300, Strecke 6694
- [41] Cobiax: cobiax.com, 2018. [Online]. Available: <http://www.cobiax.com/produkte>. [Zugriff am 25.06.2018]
- [42] DB Bahnbau Gruppe GmbH: Vershub und Synchronhub, Bahnbau Gruppe Brückenwerkstatt, Dresden, 2016
- [43] WKP Dresden., EÜ km 32,541; Strecke 5230, Gössenheim, 2017
- [44] WKP Dresden: Einschub EÜ km 12,087, Strecke 5230, Arnstein, 2017
- [45] Haitsma Beton B.V. 2018: [Online]. Available: <http://www.haitsma-beton.de/bruecken-und-strassenueberfuehrungen/hip/>. [Zugriff am 31.05.20]
- [46] Haitsma Beton B.V. 2018: [Online]. Available: <https://www.haitsma-beton.de/bruecken-und-strassenueberfuehrungen/allgemein/>. [Zugriff am 31.05.2018]
- [47] Haitsma Beton B.V. 2018: [Online]. Available: <https://www.haitsma-beton.de/bruecken-und-strassenueberfuehrungen/unterbau/>. [Zugriff am 31.05.2018]
- [48] WKP Dresden: EÜ km 209,002 Görlitz, Görlitz, 2008

- [49] WKP Dresden: ESTW Lehndorf SÜ km 48,485, B 93, Lehndorf (Altenburg), 2018
- [50] M. BRÜGGEMANN: Langjährige Erfahrungen des Tragverhaltens von Bewehrte-Erde-Brückenwiderlagern, Bautechnik 87, Nr. Heft 2, pp. 61-72, 2010
- [51] P.-M. GROßKOPFF: Beton Bauteile Kleihues, 14.12.2018. [Online]. Available: <https://www.kleihues-beton.de/referenzen/s-bahnbruecke-berlin/>. [Zugriff am 14.12.2018]
- [52] T. MÖLTER: 804.9040 Typengeprüfte Zeichnungen für Fußweg- und Bahnsteigunterführungen, DB Netz AG, 2013
- [53] SCHULZE und RUTTER: Gesamtzeichnung, LIO 131 Brücke ü. d. Reichsbahn bei Medewitzerhütten, 1989

Bilder

- Bild 2-1: Brückenflächen nach Bauweisen [2]
- Bild 2-2: Anteil der Teilbauwerke nach Längsklassen [2]
- Bild 2-3: Überbaubauweisen in Abhängigkeit der Stützweite
- Bild 2-4: Regelquerschnitt, RQ 36B (EKA1 nach RAA [1])
- Bild 2-5: Rahmen bis zu 30 m Stützweite (Längsschnitt)
- Bild 2-6: Einfeldbauwerk bis 30 m Stützweite (Längsschnitt)
- Bild 2-7: Zweifeldbauwerk (Längsschnitt)
- Bild 2-8: Dreifeldsystem (Längsschnitt)
- Bild 3-1: Baustellensystem – Bauweisen von Brückenbauwerken im Überblick
- Bild 3-2: Montage der Flügel [53]
- Bild 3-3: Montage eines Schachtelements [53]
- Bild 3-4: Grundriss Widerlager, Modulbauweise mit Blocksteinen (Breite 3 m)
- Bild 3-5: Ansicht Widerlager, Modulbauweise mit Blocksteinen (Breite 3 m)
- Bild 3-6: Schnitt Widerlager, Modulbauweise mit Blocksteinen (Breite 3 m)
- Bild 3-7: Grundriss Widerlager, Schalenbauweise
- Bild 3-8: Schnitt Widerlager, Schalenbauweise
- Bild 3-9: Widerlager aus bewehrter Erde (links), Auflagerträgergründung über Stützenkonstruktion (Mitte)
- Bild 3-10: Kastenwiderlager, USA [53]
- Bild 3-11: Kombiniertes Widerlager mit innenliegenden Pfeilern [53]
- Bild 3-12: Grundriss, Stahlbetonhohlquerschnitt
- Bild 3-13: Ansicht, Stahlbetonhohlquerschnitt
- Bild 3-14: Schnitt, Stahlbetonhohlquerschnitt
- Bild 3-15: Stahlbetonhohlquerschnitt als Pfeilerscheibe
- Bild 3-16: Stahlbetonhohlquerschnitt als aufgelöste Stütze
- Bild 3-17: Schnitt Stahlbetonhohlquerschnitt
- Bild 3-18: Stahlbetonhohlquerschnitt, aufgeständertes Widerlager
- Bild 3-19: Schnitt, Stahlbetonhohlquerschnitt, aufgeständertes Widerlager
- Bild 3-20: Stahlbetonhohlquerschnitt, hochgesetzte Widerlager auf Bodenaustausch
- Bild 3-21: Schnitt, Stahlbetonhohlquerschnitt,
- Bild 3-22: Schnitt, Gründung auf Spannbetonrammpfählen
- Bild 3-23: Ansicht, Vollquerschnitt in Köcherfundamenten
- Bild 3-24: Schnitt, Vollquerschnitt in Köcherfundamenten
- Bild 3-25: Ansicht, Vollquerschnitt in Köcherfundamenten
- Bild 3-26: Schnitt, Vollquerschnitt in Köcherfundamenten
- Bild 3-27: Ansicht, Vollquerschnitt in Köcherfundamenten, Gründung auf Spannbetonrammpfählen
- Bild 3-28: Schnitt, Vollquerschnitt in Köcherfundamenten, Gründung auf Spannbetonrammpfählen

- Bild 3-29: Bestandsplan, SÜ km 3,87 bei Medewitzerhütten [53]
- Bild 3-30: Bestandsplan, Bahnbrücke Heidenheimer Straße, Stadt Günzburg [40]
- Bild 3-31: Bestandsplan Viadukt Angelroda, km 5,300, Strecke 6694 [41]
- Bild 3-32: Unterbau aus vorgefertigten Beton-
elementen [50]
- Bild 3-33: Unterbau aus vorgefertigten Beton-
elementen [50]
- Bild 3-34: Widerlageraus-
bildung bei der Herstel-
lung eines Rahmenbauwerkes
- Bild 3-35: Variante bei der Ausbildung eines
Betongelenkes mit Ankerstab
- Bild 3-36: Spannbetonhohlkasten mit eingesetzten
Polystyrolkörpern
- Bild 3-37: Spannbetonhohlkasten mit einbetonier-
ten Rohren
- Bild 3-38: Längsschnitt Einfeldträger Spannbeton-
hohlkasten mit eingesetzten Polystyrol-
körpern
- Bild 3-39: Längsschnitt, Spannbetonhohlkasten
Einfeldträgerkette mit eingesetzten
Polystyrolkörpern
- Bild 3-40: Haitsma Kastenträger [49]
- Bild 3-41: Haitsma Hohlprofil, Detailaufnahme [49]
- Bild 3-42: Haitsma Hohlprofil, Mehrfeldbauwerk
[49]
- Bild 3-43: Spannbetonplattenbalken
- Bild 3-44: Spannbeton I-Träger mit Verguss-
öffnung
- Bild 3-45: Spannbeton I-Träger, querverspannt
- Bild 3-46: Haitsma I-Profil [48]
- Bild 3-47: Stahlverbundplattenbalken
- Bild 3-48: Stahlverbundplattenbalken mit ober-
seitigem Verguss
- Bild 3-49: Stahlverbundplattenbalken mit unter-
seitigen Montagetaschen
- Bild 3-50: Stahlverbundquerschnitt mit aufgesetz-
ter längs vorgespannter Platte
- Bild 3-51: Zylindrische Vergussöffnungen, Ver-
bundwirkung mittels nachträglich auf-
gesetzter Kopfbolzendübel
- Bild 3-52: Verbundkanal
- Bild 3-53: Verbundfuge – Abmessungen, Propor-
tionen, Bewehrung und Risslinie [15]
- Bild 3-54: Haftschrift und Riffelblech (Fugentyp:
HR) [15]
- Bild 3-55: Entwicklung der Verbundfugen [15]
- Bild 3-56: Spannbetonplatte mit einbetonierten
Rohren
- Bild 3-57: EL, mit kugelförmigen Hohlkörpern spe-
ziell für große Deckenspannweiten [42]
- Bild 3-58: SL mit abgeflachten Hohlkörpern für
besonders schlanke Betondecken [42]
- Bild 3-59: Betongelenk mit Ankerstab
- Bild 3-60: Ortbetonverguss, rückseitige Schalung,
Obergurt der Plattenelemente ausge-
spart
- Bild 3-61: Ortbetonverguss von hinten, rückseitige
Schalung mit Vergussöffnung
- Bild 3-62: Spannbetonträger Trägerschar, mit Ort-
betonergänzung und integriertem Ge-
sims
- Bild 3-63: Spannbetonplattenelemente, mit Ortbe-
tonergänzung und integriertem Gesims
- Bild 3-64: Stahlverbundträger Trägerschar, mit
Ortbetonergänzung und integriertem
Gesims
- Bild 3-65: Fertigteilvariante, aufgesetzte Kappe
mit Verankerung im Gesimsbereich [16]
- Bild 3-66: Fertigteilvariante, aufgesetzte Kappe
mit Stahlanschlag
- Bild 3-67: Gesimsaufkantung mit vorgelegter
Kappenplatte
- Bild 3-68: Gesimsaufkantung mit Belaganschluss
in Anlehnung an FHB K [19] und vorge-
stellter „Betonschutzwand“
- Bild 3-69: Gesimsaufkantung mit vorgestellter
„Betonschutzwand“ (Mittelkappe) mit
eingetragenen Wirkungsbereich
- Bild 3-70: Detail Randkappe

- Bild 4-1: EÜ km 32,541; Strecke 5230, Ausführung [45]
- Bild 4-2: EÜ km 32,541; Strecke 5230, Ausführung [45]
- Bild 4-3: Einschub EÜ km 12,087, Strecke 5230 [46]
- Bild 4-4: Einschub EÜ km 12,925, Strecke 5230 [46]
- Bild 4-5: Vershub – Rahmenbauwerk Stützweite < 30 m, Längsschnitt
- Bild 4-6: Vershub – Rahmenbauwerk Stützweite < 30 m, Querschnitt
- Bild 4-7: Vershub – Widerlager/Pfeiler, Einfeld-/Mehrfeldbauwerke, Längsschnitt
- Bild 4-8: Vershub – Widerlager/ Stützen, Einfeld-/Mehrfeldbauwerke, Querschnitt
- Bild 4-9: Vershub – Überbau, Einfeld-/ Mehrfeldbauwerke, Längsschnitt
- Bild 4-10: Vershub – Überbau, Einfeld-/ Mehrfeldbauwerke, Querschnitt
- Bild 4-11: EÜ Reichsbahnstr. in Hamburg Eidelstedt, Vershub eines WIB-DLT-Überbaus (600 t) [43]
- Bild 4-12: ESTW Lehndorf SÜ km 48,485, B93, 2018 [52]
- Bild 4-13: ESTW Lehndorf SÜ km 48,485, B93, 2018 [52]
- Bild 4-14: EÜ km 209,002 Görlitz, Einbauvorgang, 2008 [51]
- Bild 4-15: KrBW Barmbek, 2017 [26]
- Bild 5-1: Verkehrsführung in den einzelnen Bauzuständen
- Bild 5-2: Datenbank Unter- und Überbauten (Anlage 1)
- Bild 5-3: Herstellung der Unterbauten in Endlage
- Bild 5-4: Herstellung der Überbauten in Endlage
- Bild 5-5: Bauzeitenvergleich in Wochen (Anlage 2)
- Bild 5-6: Berechnungsvorgang der Bewertungsmatrix am Beispiel des konventionellen Vorgehens
- Bild 5-7: Berechnungsvorgang der Bewertungsmatrix
- Bild 5-8: Variantenvergleich der Unterbauten
- Bild 5-9: Variantenvergleich der Überbauten
- Bild 5-10: Staus und Baustellen im Jahresverlauf 2017, gemäß ADAC [30]
- Bild 5-11: Stausituation im Wochenverlauf 2017, gemäß ADAC [30]
- Bild 6-1: Grundriss Bauwerk 1 – Rahmen bis 30 m Stützweite
- Bild 6-2: Längsschnitt Bauwerk 1
- Bild 6-3: Grundriss Überbau und Unterbau Bauwerk 1
- Bild 6-4: Widerlageransicht/Regelquerschnitt Bauwerk 1
- Bild 6-5: Detail Randausbildung (Außenkappe)
- Bild 6-6: Detail – Randausbildung (Außenkappe und Mittelkappe)
- Bild 6-7: Vorfertigung südliches Teilbauwerk
- Bild 6-8: Aufbau südliches Teilbauwerk
- Bild 6-9: Vorfertigung nördliches Teilbauwerk
- Bild 6-10: Aufbau nördliches Teilbauwerk
- Bild 6-11: Bauzeit und Verkehrseinschränkung Bauwerk 1
- Bild 6-12: Kostenschätzung Bauwerk 1 – Rahmenbauwerk
- Bild 6-13: Grundriss Bauwerk 2 – Einfeldsystem von 10 m – 30 m
- Bild 6-14: Längsschnitt Bauwerk 2
- Bild 6-15: Widerlageransicht/Regelquerschnitt
- Bild 6-16: Detail – Fuge Widerlagerwände
- Bild 6-17: Überbauquerschnitt
- Bild 6-18: Detail Variante 1 – Stahlquerschnitt Fertigteil mit Hohlkörpern

- Bild 6-19: Detail Variante 2 – Stahlquerschnitt Fertigteile mit Hohlkörpern durch Hart-schaumblocke
- Bild 6-20: Detail – Vorspannung in Querrichtung
- Bild 6-21: Detail – Fugenausbildung mit Epoxid-harzmörtel
- Bild 6-22: Vernetzter Untersuchungsquerschnitt mit Hohlkörpern [35]
- Bild 6-23: Dekompression der maßgebenden Fuge 2 – links: Lastfall 1 (Verkehrslas-ten im GZT, $\gamma = 1,35$), rechts: Lastfall 2 (Verkehrslasten im GZG, $\gamma = 1,00$) [35]
- Bild 6-24: Detail – Fugenausbildung durch Mörtel-verguss
- Bild 6-25: Detail – Betongelenk und Überbau-abschluss
- Bild 6-26: Aufbau des südlichen Teilbauwerkes
- Bild 6-27: Aufbau des nördlichen Teilbauwerkes
- Bild 6-28: Bauzeit und Verkehrseinschränkung Bauwerk 2
- Bild 6-29: Kostenschätzung Bauwerk 2 Einfeld-bauwerk
- Bild 6-30: Grundriss Bauwerk 3 Zweifeldbauwerk
- Bild 6-31: Längsschnitt Bauwerk 3
- Bild 6-32: Grundriss der Fundamente Pfeiler und Widerlager
- Bild 6-33: Detail – Widerlager, Ansicht und Längs-schnitt
- Bild 6-34: Detail – Pfeiler, Ansicht und Längs-schnitt
- Bild 6-35: Querschnitt Überbau
- Bild 6-36: Detail – Stahlkonstruktion Überbau
- Bild 6-37: Aufbau des südlichen Teilbauwerkes I
- Bild 6-38: Aufbau des südlichen Teilbauwerkes II
- Bild 6-39: Aufbau des nördlichen Teilbauwerkes I
- Bild 6-40: Aufbau des nördlichen Teilbauwerkes II
- Bild 6-41: Bauzeit und Verkehrseinschränkung Bauwerk 3
- Bild 6-42: Kostenschätzung Bauwerk 3 – Zweifeld-bauwerk
- Bild 6-43: Grundriss Bauwerk 4 – Dreifeldbauwerk
- Bild 6-44: Längsschnitt Bauwerk 4
- Bild 6-46: Längsschnitt Bauwerk 4 – (höhere Stüt-zen)
- Bild 6-45: Schnitt Widerlager
- Bild 6-47: Detail – Schnitt Pfeiler
- Bild 6-48: Querschnitt Überbau
- Bild 6-49: Aufbau des südlichen Teilbauwerkes I
- Bild 6-50: Aufbau des südlichen Teilbauwerkes II
- Bild 6-51: Aufbau des nördlichen Teilbauwerkes I
- Bild 6-52: Aufbau des nördlichen Teilbauwerkes II
- Bild 6-53: Bauzeit und Verkehrseinschränkung Bauwerk 4
- Bild 6-54: Kostenschätzung Bauwerk 4 – Dreifeld-bauwerk

Tabellen

- Tab. 5-1: Dauer der Ausführungsplanung und Baufreigabe in Wochen
- Tab. 5-2: Dauer der Herstellung Mittelstreifen-überfahrt, BE, Verbau, Rückbau Be-stand, Baugrube in Wochen
- Tab. 5-3: Dauer der Nachlaufarbeiten in Wochen (Errichtung Hinterfüllung, Entwässe-rung, ggf. Schleppplatte herstellen, Brückenausstattung, Fahrbahn, BE räumen, Verkehrsführung aufheben)
- Tab. 5-4: Nachhaltigkeit, Kriterien und prozen-tualer Anteil
- Tab. 5-5: Staubbedingter CO₂-Ausstoß und Aus-gleichszahlungen
- Tab. 5-6: Stauerscheinungen und daraus resultie-rende volkswirtschaftliche Schäden
- Tab. 7-1: Prüfmaßtoleranzen

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Brücken- und Ingenieurbau“

2015

B 112: Nachhaltigkeitsberechnung von feuerverzinkten Stahlbrücken

Kuhlmann, Maier, Ummenhofer, Zinke,
Fischer, Schneider € 14,00

B 113: Versagen eines Einzelelementes bei Stützkonstruktionen aus Gabionen

Placzek, Pohl
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter
<https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 114: Intelligente Bauwerke – Anforderungen an die Aufbereitung von Messgrößen und ihrer Darstellungsform

Sawo, Klumpp, Beutler
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter
<https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 115: Auswirkungen von Lang-Lkw auf die sicherheitstechnische Ausstattung und den Brandschutz von Straßentunneln

Mayer, Brennberger, Großmann
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter
<https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 116: Überwachungskonzepte im Rahmen der tragfähigkeitsrelevanten Verstärkung von Brückenbauwerken aus Beton

Schnellenbach-Held, Peeters, Brylka, Fickler, Schmidt
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter
<https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 117: Intelligente Bauwerke – Prototyp zur Ermittlung der Schadens- und Zustandsentwicklung für Elemente des Brückenmodells

Thöns, Borrmann, Straub, Schneider, Fischer, Bügler
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter
<https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 118: Überwachungskonzepte für Bestandsbauwerke aus Beton als Kompensationsmaßnahme zur Sicherstellung von Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit

Siegert, Holst, Empelmann, Budelmann
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter
<https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 119: Untersuchungen zum Brandüberschlag in Straßentunneln

Schmidt, Simon, Guder, Juknat,
Hegemann, Dehn € 16,00

B 120: Untersuchungen zur Querkrafttragfähigkeit an einem vorgespannten Zweifeldträger

Maurer, Gleich, Heeke, Zilch, Dunkelberg
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter
<https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 121: Zerstörungsfreie Detailuntersuchungen von vorgespannten Brückenplatten unter Verkehr bei der objektbezogenen Schadensanalyse

Diersch, Taffe, Wöstmann, Kurz, Moryson
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter
<https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 122: Gussasphalt mit integrierten Rohrregistern zur Temperierung von Brücken

Eilers, Friedrich, Quaaas, Rogalski, Staeck
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter
<https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2016

B 123: Nachrechnung bestehender Stahl- und Verbundbrücken – Restnutzung

Geißler, Krohn € 15,50

B 124: Nachrechnung von Betonbrücken – Systematische Datenauswertung nachgerechneter Bauwerke

Fischer, Lechner, Wild, Müller, Kessner
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter
<https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 125: Entwicklung einheitlicher Bewertungskriterien für Infrastrukturbauwerke im Hinblick auf Nachhaltigkeit

Mielecke, Kistner, Graubner, Knauf, Fischer, Schmidt-Thrö
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter
<https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 126: Konzeptionelle Ansätze zur Nachhaltigkeitsbewertung im Lebenszyklus von Elementen der Straßeninfrastruktur

Mielecke, Graubner, Roth
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter
<https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 127: Verstärkung von Stahlbrücken mit Kategorie-2-Schäden

Kuhlmann, Hubmann € 21,50

B 128: Verstärkung von Stahlbrücken mit Kategorie-3-Schäden

Ungermann, Brune, Giese € 21,00

B 129: Weiterentwicklung von Verfahren zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Verkehrsinfrastrukturen

Schmellekamp
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter
<https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 130: Intelligente Straßenverkehrsinfrastruktur durch 3D-Modelle und RFID-Tags

Tulke, Schäfer, Brakowski, Braun
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter
<https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 131: Pilotstudie zum Bewertungsverfahren Nachhaltigkeit von Straßenbrücken im Lebenszyklus

Schmidt-Thrö, Mielecke, Jungwirth, Graubner, Fischer, Kuhlmann, Hauf
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter
<https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 132: Pre-Check der Nachhaltigkeitsbewertung für Brückenbauwerke

Graubner, Ramge, Hess, Ditter, Lohmeier
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter
<https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 133: Anforderungen an Baustoffe, Bauwerke und Realisierungsprozesse der Straßeninfrastrukturen im Hinblick auf Nachhaltigkeit

Mielecke, Graubner, Ramge, Hess, Pola, Caspari
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter
<https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 134: Nachhaltigkeitsbewertung für Erhaltungs- und Erhaltungskonzepte von Straßenbrücken

Gehrlein, Lingemann, Jungwirth
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter
<https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2017

B 135: Wirksamkeit automatischer Brandbekämpfungsanlagen in Straßentunneln

Kohl, Kammerer, Leucker, Leismann, Mühlberger, Gast
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 136: HANV als Verstärkung von Stahlbrücken mit Kategorie-1-Schäden

Stranghöner, Lorenz, Raake, Straube †, Knauff
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 137: Verstärkung von Stahlbrücken mit hochfestem Beton

Mansperger, Lehmann, Hofmann, Krüger, Lehmann € 14,50

B 138: Rückhaltesysteme auf Brücken – Einwirkungen aus Fahrzeuganprall und Einsatz von Schutzeinrichtungen auf Bauwerken

Mayer
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 139: Unterstützung der Bauwerksprüfung durch innovative digitale Bildauswertung – Pilotstudie

Sperber, Gößmann, Reget, Müller, Nolden, Köhler, Kremkau € 16,50

B 140: Untersuchungen zum Beulnachweis nach DIN EN 1993-1-5

U. Kuhlmann, Chr. Schmidt-Rasche, J. Frickel, V. Pourostad
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 141: Entwurf von hydrogeothermischen Anlagen an deutschen Straßentunneln

Moomann, Buhmann
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 142: Einsatz von offenporigen Belägen in Einhausungs- und Tunnelbauwerken

Baltzer, Riepe, Zimmermann, Meyer, Brungsberg, Mayer, Brennberger, Jung, Oeser, Meyer, Koch, Wienecke
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2018

B 143: Analyse des menschlichen Verhaltens bei Aktivierung von stationären Brandbekämpfungsanlagen in Straßentunneln

Mühlberger, Gast, Plab, Probst € 15,50

B 144: Nachrechnung von Stahl- und Verbundbrücken – Systematische Datenauswertung nachgerechneter Bauwerke

Neumann, Brauer € 16,50

B 145: 8. BAST-Tunnelsymposium vom 6. Juni 2018 in der Bundesanstalt für Straßenwesen Bergisch Gladbach – Tagungsband

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2019

B 147: Vorbereitung von Großversuchen an Stützkonstruktionen aus Gabionen

Blosfeld, Schreck, Decker, Wawrzyniak
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2020

B 146: Beurteilung der Ermüdungssicherheit von vollverschlossenen Seilen mit Korrosionsschäden

Paschen, Dürrer, Gronau, Rentmeister
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 148: Übergreifungslängen von Betonstahlbewehrung Maßgebende Einflussparameter in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit

Maurer, Bettin
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 149: Untersuchungen zum Einfluss von Modellparametern auf die Lebensdauerprognose für Brückenbauwerke

Keßler, Gehlen € 16,00

B 150: Beurteilung der Querkraft- und Torsionstragfähigkeit von Brücken im Bestand – erweiterte Bemessungsansätze

Hegger, Herbrand, Adam, Maurer, Gleich, Stuppak, Fischer, Schramm, Scheufler, Zilch, Tecusan
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 151: Verfahren und Modelle zur Quantifizierung der Zuverlässigkeit von dauerüberwachten Bestandsbrücken

Ralbovsky, Prammer, Lachinger, Vorwagner
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 152: Bemessung von Kopfbolzendübeln in Randlage unter Vermeidung eines Versagens infolge Herausziehens

Kuhlmann, Stempniewski
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 153: Kanalbrücke Berkenthin mit temperierter Fahrbahn – Pilotprojekt

Eilers, Friedrich, Quaas, Rogalski € 15,00

B 154: Korrosionsschutz von Brückenseilen – Wickelverfahren mit Korrosionsschutzbändern

Friedrich € 9,00

B 155: Innovativer und nachhaltiger Ersatzneubau von Betonbrücken

Wirker, Donner
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen
Tel. +(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-48

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.

www.schuenemann-verlag.de

Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können wir auf Wunsch als »Book on Demand« für Sie herstellen.