

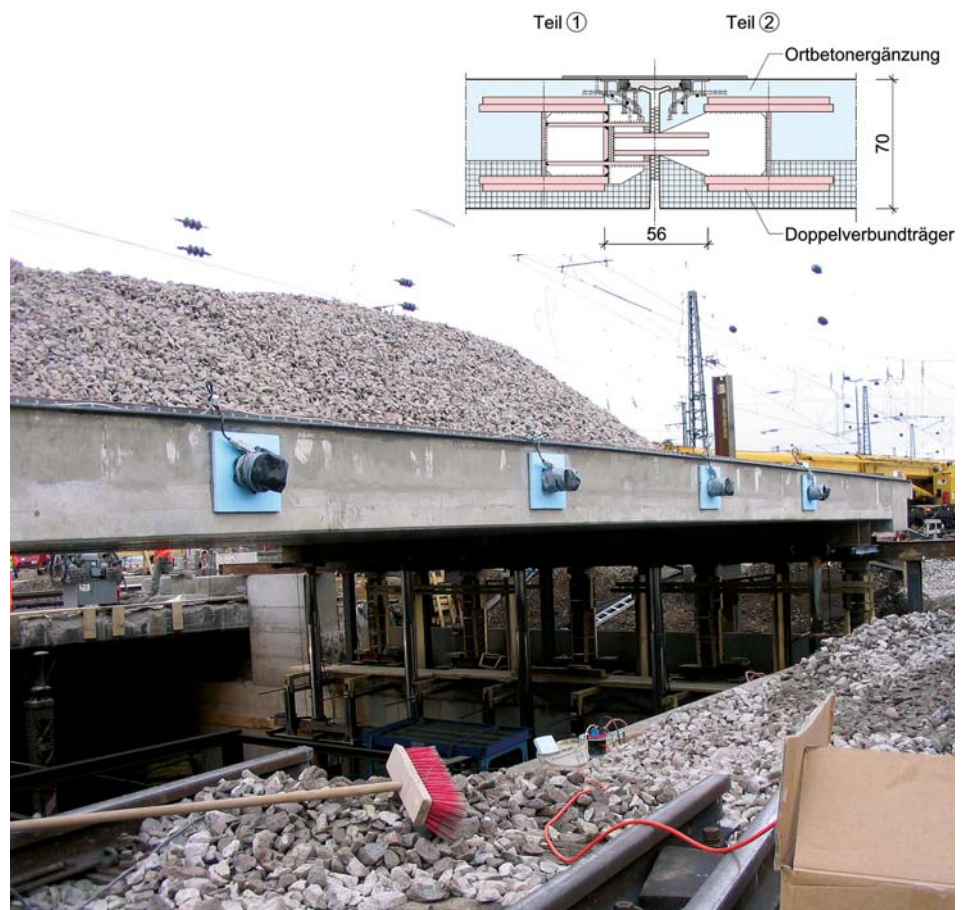
## Querkraftkopplungen bei Eisenbahnüberführungen – Erneuerung der EÜ Schwarzwaldstraße in Karlsruhe

Kopplung benachbarter Überbauten zur Vermeidung von Durchbiegungsdifferenzen beim Überfahren von Längsfugen

### Autoren:

Dipl.-Ing. Peter Schuchardt  
DB ProjektBau GmbH  
Niederlassung Südwest  
Karlsruhe

Dipl.-Ing. Heinz-Josef Vieth  
Prokurist  
Krebs und Kiefer, Karlsruhe



  
**KREBS UND KIEFER**  
Beratende Ingenieure für das Bauwesen GmbH

BERLIN • DARMSTADT • ERFURT • FREIBURG • KARLSRUHE

Peter Schuchardt  
Heinz-Josef Vieth

## Querkraftkopplungen bei Eisenbahnüberführungen – Erneuerung der EÜ Schwarzwaldstraße in Karlsruhe

Das in der Entstehungszeit des Hauptbahnhofes Karlsruhe erstellte Überführungsbauwerk über die Schwarzwaldstraße ist in einem schlechten baulichen Zustand mit anprallgefährdeten Pendelstützen und muß erneuert werden. Da die Widerlager in einem erhaltenswerten Zustand sind, werden die Auflager und das Tragwerk ersetzt. Gleichzeitig wird die lichte Höhe dem Lichtraumprofil der Stadtbahn angepaßt und der Gesamtquerschnitt in der Breite zwischen Stadtbahn, Straße und Geh- und Radweg neu aufgeteilt. Die Bauarbeiten sind unter Aufrechterhaltung des Betriebs auf den über- und unterführten Gleisanlagen und des Fußgänger- und Radverkehrs durchzuführen.

Zu der baubetrieblich schwierigen Aufgabenstellung mit den speziellen Bauverfahren – seitliche Vorfertigung, Vershub und Austausch der Tragwerke in Sperrpausen – sind Querkraftkopplungen zu planen und zu bauen. Durch diese Fugenkopplungen werden die gegenseitigen vertikalen Verformungen bei Längsfugenüberfahrten ausgeschlossen, um eine stabile Gleislage und einen wartungsarmen Oberbau sicherzustellen.

### 1 Einleitung

Südwestlich des Hauptbahnhofes Karlsruhe kreuzen die Gleisanlagen des DB Netzes die südliche Einfahrtstraße (Schwarzwaldstraße) zur Karlsruher Innenstadt zusammen mit der Gleisanlage der AVG (Stadtbahn) sowie einem Geh- und Radweg. Durch die unmittelbare Nähe zum Bahnhof liegen auf dieser Eisenbahnüberführung 13 Gleise und 3 Bahnsteige. Die im Jahr 1913 dem Verkehr übergebene Eisenbahnüber-

führung ist ein Bauwerk mit einer lichten Weite zwischen den Widerlagern von 20 m und einer Breite von 101 m. Es handelt sich um Stahlüberbauten mit Betonausfachungen. Diese Stahlüberbauten bilden ein Dreifeldbauwerk, welches mittels zwei Reihen genieteteter Stahlpendelstützen zwischenunterstützt wird. Der schlechte Zustand der Überbauten sowie die verkehrliche Situation mit den anprallgefährdeten Pendelstützen erfordern die Erneuerung des Tragwerkes.

Auf Grundlage verschiedener Variantenuntersuchung und Vorplanungen mit ein- und zweifeldrigen

Tragsystemen entsteht als Ausführungsentwurf ein schlanker Überbau mit Doppelverbundträgern (bekannt als Spannverbund- oder Preflexträger) als stützenlose Konstruktion, welche die verkehrlichen Randbedingungen in der Unterführung am konsequentesten berücksichtigen kann. Zusätzlich kann die DB AG auf Gleise und Bahnsteige im Brückenfeld verzichten. Diese entbehrlichen Bahneinrichtungen liegen im Randbereich der bestehenden Anlage, so daß anstatt einer alten 101 m breiten eine 64,70 m breite Brücke bestellt werden kann (Bild 1 und Bild 2).

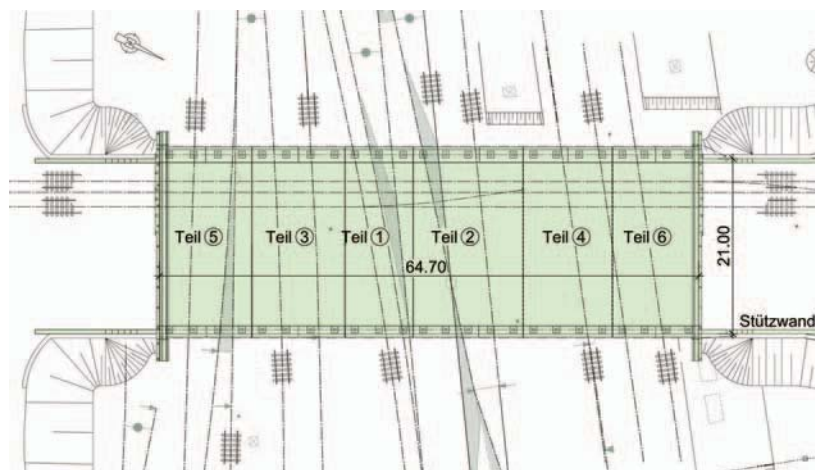


Bild 1. Lageplan Brücke mit Gleislagen und Fugenteilungen

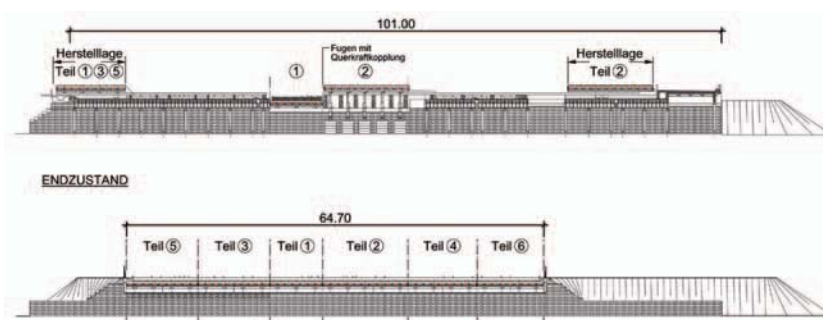


Bild 2. Querschnitt Bestand und neuer Zustand

Es entstehen sechs neue Überbauten mit in Längsrichtung „schwimmender Lagerung“. Die verbleibenden ehemaligen Widerlagerwände werden aus Gründen der Standsicherheit und der Gestaltung auf eine Stützwandhöhe um ca. 2 m gekürzt. Die weiter als Widerlager verwendeten Teile der Unterbauten erhalten im Zuge der Erneuerung neue Auflagerbänke.

## 2 Randbedingungen

Die unmittelbar im Bahnhofskopf liegende Eisenbahnüberführung erzwingt bei der Erneuerung die Abwägung und Einhaltung verschiedener schwieriger Randbedingungen. Es wird mit der Rheintalbahn eine der am stärksten frequentierten Bahnstrecken überführt. Neben den weiteren Strecken in den Süden von Rheinland-Pfalz und Richtung Bretten/Mühlacker nutzt das überörtliche Stadtbahnsystem von Karlsruhe Teile der DB-Gleisanlagen. So entstehen durch den Betrieb gravierende Vorgaben zum Bau der Erneuerung.

Die Gleisanlage selbst ist durch die Verschachtelung mit Weichen festgelegt, so daß die verkehrliche und geometrische Situation der weiter bestellten Betriebsanlage nicht verändert werden kann. Als weitere Randbedingung ist die bauliche zu berücksichtigen. Da die neue ca. 65 m breite Überführung nur in Teilschritten gebaut werden kann, sind neue und alte Fugen und mögliche Trennschnitte (Abbruchlinien) aufeinander abzustimmen bzw. festgelegt, um den weiteren Betrieb auf der Brücke während der Umbaumaßnahme sicherzustellen.

Nach einem Sperrwochenende mit Abbruch und Einbau eines Überbauteiles muß die gesamte Gleisanlage wieder uneingeschränkt befahrbar sein. Da unterschiedliche Brücken-

konstruktionen (alt: Dreifeldträger, neu: Einfeldträger) vorliegen und während der Umbauphasen zum Teil beide Konstruktionen nebeneinanderliegen, kann von der Gleislage her gesehen nicht jede wünschenswerte Überbauteilung gewählt werden, sondern nur statisch-konstruktiv mögliche. Das heißt alte und neue Fugen müssen übereinstimmen und weitere Trennschnitte müssen diesen gesamten Randbedingungen genügen. Durch die unterschiedlichen Überbaubreiten kommt es zu ungleichen Fugenaufteilungen hinsichtlich der Gesamtbreite (Bild 1).

## 3 Konstruktion

Die Vorgaben an den Querschnitt in der Unterführung – lichte Höhe für die unterführte Stadtbahn und in der Breite den Gesamtquerschnitt für zweigleisige Stadtbahn, Fahrbahn der Straße und beidseitige straßenbegleitende Geh- und Radwege – erfordern einen sehr schlanken Überbau mit einer Konstruktionshöhe von 70 cm bei einer Stützweite von 21,00 m (Bild 3). Aufgrund von Vorabstimmungen werden Sonderlösungen in WIB- oder Spannbetonbauarten ausgeschlossen, so daß die im Geschäftsbereich der DB AG bereits ausgeführte Konstruktionsart „Doppelverbundträger mit werkseitig vorgedrücktem Zuggurt“ zum Einsatz kommt. Die oben genannten Randbedingungen betrieblicher, verkehrlicher und konstruktiver Art führen dazu, daß drei Abweichungen von technischen Regeln (DB-Regelwerk-Ril 804 [1]) nicht zu vermeiden sind:

- Wegen der zur Verfügung stehenden Gesamtbauhöhe von 1,41 m muß auf eine Regelabdichtung auf Bitumenbasis und Schutzbeton verzichtet werden.
- Die Gleisgeometrie, die in Höhe und Lage nicht verändert werden

kann, führt bei rechtwinkligen Fugen und Winkeln bis ca. 90 gon in der Gleislage zu überfahrenen Längsfugen.

- Die verschiedenen Gleisverbindungen auf den Überbauten müssen vorhanden bleiben.

Diese Abweichungen von den Regelungen in der DB-Richtlinie Modul 804 machen „Unternehmensinterne Genehmigungen“ (UIG [2]) erforderlich.

## 4 Wahl von Querkraftkopplungen

Während die oben genannten Abweichung von technischen Regeln „Verzicht auf Regelabdichtung“ bei besonderen Zwängen in der benötigten Konstruktionshöhe zu einer häufiger eingesetzten zugelassenen direktbeschotterbaren Kunststoffabdichtung führt und über eine UIG für das Bauwerk geregelt wird, stellen die Fugenüberfahrten und die Weichen auf den Überbauten Besonderheiten dar, die zu detaillierten Abstimmungen mit der Fachabteilung Systemtechnik und Oberbau-technik der DB führt.

Die Entwurfsgeschwindigkeit (maximale Geschwindigkeit) beträgt für Personenzüge 100 km/h und für Güterzüge 80 km/h.

Bei Überbauten mit Längsfuge und Schotterbett sind (Zitat aus UIG)

- im Hinblick auf die lastabtragende und lagestabilisierende Funktion der Schotterbettung sowie einen instandhaltungsarmen Oberbau ein Mindestabstand zur Längsfuge und ein zugehöriger maximaler Versatz (gegenseitige vertikale Verschiebung der Fugenränder) unter Betriebsbelastung einzuhalten. Gemäß Ril 804 beträgt bei der vorgesehenen Geschwindigkeit der Mindestgleisab-

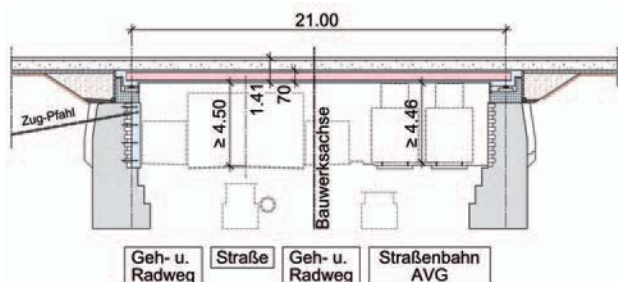


Bild 3. Längsschnitt

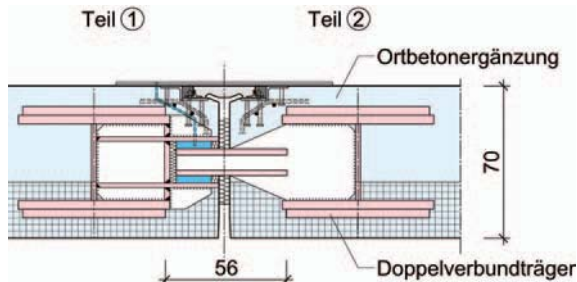


Bild 4. Detailzeichnung Kopplung

stand zur Fuge 2,0 m und der zugehörige Versatz 3 cm.

Durch die Forderung des DIN-FB 101 [3] mit der Verformungsbedingung von zul.  $v = L/800$  führt dieser Entwurfparameter bereits zur Einhaltung des maximal erlaubten Versatzes von 3 cm, welcher auch für randnahe Laststellungen des Lastbildes LM 71 nachgewiesen werden kann. Aufgrund des zweiten Kriteriums (Unterschreitung des Mindestrandabstandes) muß der gegenseitige Versatz im allgemeinen vermindert werden.

Wegen der bereits aufgrund der Planungsvorgaben ausgereizten Konstruktion sind Steifigkeitserhöhungen am Querschnitt nicht mehr möglich. Als verbleibende Alternative wird die Koppelung der Überbauten vorgesehen. Da lediglich die vertikalen Verformungen stark begrenzt, die horizontalen Bewegungen (quer) aber weitgehend nicht behindert werden sollen, werden Querkraftkopplungen entwickelt.

## 5 Art der Querkraftkopplungen

Bei der Wahl und Ausbildung der Querkraftkopplungen müssen die Funktion und die Herstellbarkeit beachtet werden. Problematisch in der Konstruktion ist die geringe Bauhöhe, da im Querschnitt an der gleichen Stelle noch die Auflager- und Verankerungsteile der Fugenkonstruktion unterzubringen sind, aber dennoch die hohen Lasten aus dem Lastbild LM 71 übertragen werden müssen. Wegen des Verzichtes auf den Schutzbeton liegt die Sonderausbildung der Fugenkonstruktion tiefer im Bauteilquerschnitt. Vorteilhaft in der Konstruktion ist das Vorhandensein der Stahlträger, so daß ein stahlbaummäßiger Querkraftanschluß entworfen wird.

Mit der Bemessung auf Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit (Ermüdung) konnte in einer statischen Variantenbetrachtung die Kopplung auf fünf gleichmäßig verteilte „Einzelzähne“ je Fuge optimiert werden. Von jedem „Einzelzahn“ müssen ca. 0,5 MN in den Nachbarüberbau übertragen werden (Bild 4).

Die „Einzelzähne“ bestehen aus einem zusammengesetzten I-Querschnitt auf der einen Seite und einem Kastenquerschnitt auf der anderen

Seite (Bilder 5 und 6). Als maximale Einzelblechstärke wird 50 mm verwendet. Diese Stahlbauteile sind an die Stege und Flansche der Blechträger in den Doppelverbundträgern angeschweißt. Der Hohlraum zwischen Zahn und Kasten wird mit schwindarmen hochfesten Vergußmörtel ausgefüllt.

Als weitere Vorgabe der UIG sind die überfahrenen Längsfugenkonstruktionen dauerhaft gegen eine direkte mechanische Beanspruchung zu schützen. Es werden spezielle Unterschottermatten (genau definierte Anforderungen gemäß UIG) verwendet, die mit der Brückentafel zu verkleben sind.

## 6 Herstellung der Querkraftkopplungen

Die neue Brücke besteht aus sechs nebeneinander liegenden Überbauteilen. Die Überbauten werden – wie bereits bei anderen Überführungen in Veröffentlichungen beschrieben (siehe [4]) – in den Portalbereichen hergestellt und in Betriebspausen (Sperrpausen) eingeschoben. Aufgrund des oben beschriebenen Entfalls der äußeren Teile der Bahnanlage wird jeweils ein Überbau auf dem alten äußeren Überbauteil hergestellt ohne den Betrieb zu stören. In der Betriebspause wird der vorgesehene alte Überbau abgebrochen und durch das neue Brückenteil mittels Querverschub und Absenken ersetzt. Durch die Querkraftverzahnung entsteht eine weiter zu lösende Aufgabe. Die Querkraftkopplungen werden mit einer seitlichen Herstellungstoleranz von  $\pm 35$  mm in der Lage und Höhe ausgebildet.

Die jeweils äußeren Doppelverbundträger werden mit werksmäßig hergestellten Querkraftanschlüssen zur Baustelle geliefert. Nach dem Querverschub und dem Absenkvorgang muß der Überbau, der angeschlossen wird, nochmals um ca. 25 cm querverschoben werden, um die Querkraftzähne in die vorgesehenen Kästen des bereits liegenden Überbaus einzufügen. Für diesen zweiten Verschiebungsvorgang steht eine Höhe von 35 mm (Toleranz) zuzüglich ca. 40 mm (Bauhöhe für späteren Lagerverguß) zur Verfügung, der für die Verschiebbahn und das Pressenspiel für das Absetzen auf die Lager genutzt werden kann.



Bild 5. Detail Kopplung vor Betonierzustand



Bild 6. Detail Kopplung vor Betonierzustand



Bild 7. Überbau vor der Absenkphase

Nach Erreichen der Endlage wird der Hohlraum vergossen. Es kommt wegen der erforderlichen Frühfestigkeiten ein mikrosilikavergüteter Lagervergußmörtel zum Einsatz. Durch die Planung wird festgelegt, nach welcher Festigkeit die weiteren Arbeitsschritte erbracht werden können – Aufbringen restlicher Schotter, Gleis- und Gleisstopfarbeiten und Freigabe für den Betrieb.

In Bild 7 befindet sich der Überbau in verschobener Lage vor dem Absenken. Die Querkraftkopplungen werden beheizt, um eine Temperatur von ca. 10 °C für den Verguß sicher zu stellen.

## 7 Ausführung

Bedingt durch die betrieblichen Vorgaben werden die verschiedenen Überbauteile auf beiden Randseiten des Brückenfeldes zusammengebaut und betoniert. Für die Herstellung bedeutet dieses, ein besonderes Augenmerk auf die Maßgenauigkeiten und die Vermessungstechnik zu richten, denn die Überbauten mit Querkraftkopplungen liegen beim Betonieren zum Teil 70 m voneinander entfernt. Auch wenn die Maßgenauigkeiten und zur Verfügung stehenden Toleranzen schon fast „Uhrmacherarbeit gleichkommt“ kann die ausführende Baufirma durch entsprechende Arbeitsvorbereitung und Arbeitsanweisungen die Herstellung meistern.

Mit dem Betrieb der DB AG konnte im Vorfeld eine jeweilige Sperrzeit von ca. 63 h vereinbart werden; für die nur überschobenen und nicht ausgebauten Gleise betragen die Sperrzeiten zum Teil nur wenige Stunden. In dieser Zeit ist der Auf- und Abbau mehrerer Gleise, der Abbruch der alten Konstruktion, das Versetzen neuer Auflagerfertigteile und das Einbringen des neuen Überbauteiles durchzuführen. Durch die notwendigen Abbindezeiten beim Versetzen der Auflagerfertigteile und beim Verguß der Querkraftkopplungen bis zum Aufbringen der verschiedenen temporären und endgültigen Lasten ist ein fein-abgestimmter Bauablaufplan zu erstellen (Bild 8), bei

dem mehrere Arbeiten ineinander greifen.

Zeitlich besonders von Bedeutung sind die Fugen mit den Querkraftkopplungen. Hier sind neben der Beachtung der Frühfestigkeiten die saubere Verfüllung der Hohlräume in den Kopplungen, der Einbau des wasserdichten Längsfugenbandes und der einzuklebenden Unterschottermatten zu realisieren.

## 8 Schlußbemerkung

Das hier angewendete Bauverfahren hat seine Eignung für Erneuerungsmaßnahmen an Bauwerken in städtischer Lage und unter hohen eisenbahnbetrieblichen Restriktionen ein weiteres Mal (siehe auch [4]) bewiesen. Wenngleich während der Montagevorgänge zum Querverschub und Auswechseln der Überbauten stark in den Betriebsablauf der Bahn eingegriffen wurde, lief der Bahnbetrieb auf den verbleibenden unter- und überführten Gleisen und in der dazwischenliegenden Bauzeit nahezu ungestört. Dieses ist der engen Zusammenarbeit mit allen Beteiligten und dem Verständnis für die Problemstellungen des Einzelnen zu verdanken.

Mit der Entwicklung und dem Bau der Querkraftkopplungen ist eine Lösung auch für besondere Aufgabenstellungen (Überfahren von Längsfugen) gefunden worden, um die Gleislage auf Dauer stabil und wartungsarm zu halten.

Durch die Kopplung jeweils zweier benachbarter Überbauten ergibt sich für den Fall von Lagerauswechselungen ein erhöhter Aufwand, da beide Überbauten mittels Pressen anzuheben sind. Diese größeren Aufwendungen für den Fall von selten notwendigen Lagerauswechselungen sind gegenüber Gleislage und Gleiswartung aber wirtschaftlich von untergeordneter Bedeutung.

Die Verfasser bedanken sich an dieser Stelle bei allen Beteiligten insbesondere bei den Mitarbeitern der DB-System- und Oberbautechnik München für die positive und konstruktive Zusammenarbeit zur Entwicklung und Genehmigung dieser innovativen Lösung.

## Literatur

- [1] DB-Richtlinie 804 – Eisenbahnbrücken (und sonstige Ingenieurbauwerke) planen, bauen und instand halten – DB Netz AG Ausgabe 2003.
- [2] Technische Mitteilung zum Konstruktiven Ingenieurbau Nr. UIG 037/2005/145 – unveröffentlicht.
- [3] DIN-FB 101 (DIN-Fachbericht 101) – Einwirkungen auf Brücken. Ausgabe 2003.
- [4] Kuppel, Pellar – Tragwerksmontage durch Überschieben – Beton- und Stahlbetonbau 5/97.



Dipl.-Ing. Peter Schuchardt  
DB ProjektBau GmbH  
NL Südwest, I.B.-SW-TP KAR1 G01G  
Schwarzwaldstraße 82  
76137 Karlsruhe,  
peter.schuchardt@bahn.de



Dipl.-Ing. Heinz-Josef Vieth  
Prokurist der Krebs und Kiefer  
Beratende Ingenieure für das Bauwesen GmbH  
Karlstraße 46  
76133 Karlsruhe  
kuk@ka.kuk.de

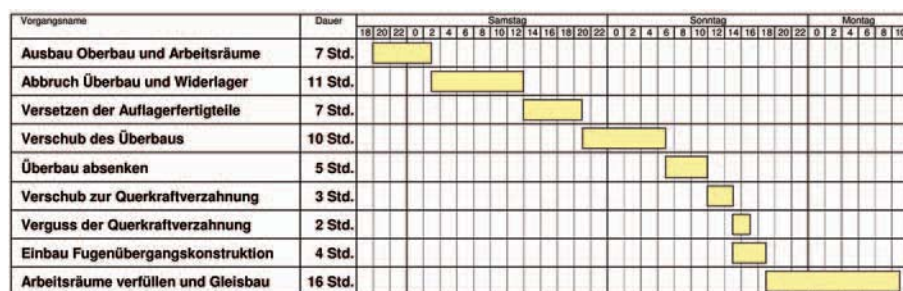


Bild 8. Bauablaufplan für ein Sperrwochenende (vereinfacht)

## Projektbeteiligte

Bauherr:	DB Netz AG Niederlassung Südwest Karlsruhe
Projektleitung:	DB ProjektBau GmbH Niederlassung Südwest Karlsruhe
Planung: (Entwurf, Ausschreibung, Ausführungsplanung)	Krebs und Kiefer, Beratende Ingenieure für das Bauwesen GmbH, Karlsruhe
Bauausführung:	Fa. Kassecker GmbH, Waldsassen



Krebs und Kiefer  
Beratende Ingenieure  
für das Bauwesen GmbH,  
**Berlin**  
Kochstraße 27  
10969 Berlin  
Telefon (030) 21 73 42-0  
Telefax (030) 21 73 42-11  
kuk@b.kuk.de

Krebs und Kiefer  
Beratende Ingenieure  
für das Bauwesen GmbH,  
**Darmstadt**  
Hilpertstraße 20  
64295 Darmstadt  
Telefon (0 61 51) 885-0  
Telefax (0 61 51) 885-150  
kuk@da.kuk.de

Krebs und Kiefer  
Beratende Ingenieure  
für das Bauwesen GmbH,  
**Erfurt**  
Am Seegraben 2  
99099 Erfurt  
Telefon (03 611) 4 20 64-11  
Telefax (03 611) 4 20 64-12  
kuk@ef.kuk.de

Krebs und Kiefer  
Beratende Ingenieure  
für das Bauwesen GmbH,  
**Freiburg i. Br.**  
Bertoldstraße 48  
79098 Freiburg i. Br.  
Telefon (07 61) 2 96 66-0  
Telefax (07 61) 2 96 66-50  
kuk@fr.kuk.de

Krebs und Kiefer  
Beratende Ingenieure  
für das Bauwesen GmbH,  
**Karlsruhe**  
Karlstraße 46  
76133 Karlsruhe  
Telefon (07 21) 35 08-0  
Telefax (07 21) 35 08-211  
kuk@ka.kuk.de