

Verstärkungen älterer Beton- und Spannbetonbrücken

Erfahrungssammlung
Dokumentation 2016



Verstärkungen älterer Beton- und Spannbetonbrücken

Erfahrungssammlung Dokumentation 2016

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
Abteilung Straßenbau

vertreten durch

Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)
Brüderstraße 53
51427 Bergisch Gladbach

Projekt-Nr. BASt: FE 15.0570/2012/NRB

Erstellt von: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martina Schnellenbach-Held
Dr.-Ing. Torsten Welsch
Dipl.-Ing. Silvia Fickler

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Josef Hegger
Dipl.-Ing. Karin Reißer

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis	7	2.6.1 Technik / Ausführung	25
1 Einleitung	9	2.6.2 Anwendungsbereiche	26
1.1 Veranlassung	9	2.6.3 Randbedingungen und Anwendungsgrenzen	27
1.2 Zielsetzung und Vorgehen	9	2.6.4 Bemessungsvorgaben, -regeln und Zulassungen	27
2 Stand der Kenntnisse Verstärkungstechniken	10	2.6.5 Vor- und Nachteile	27
2.0 Allgemeines	10	2.7 Sonderlösungen	27
2.1 Zusätzliche Vorspannung	10	2.7.1 Vorgespannte CFK-Lamellen	27
2.1.1 Technik und Ausführung	10	2.7.2 Aufgeklebte Stahllaschen	28
2.1.2 Anwendungsbereiche	13	2.7.3 Querschnittsergänzungen durch Spritzbeton mit zusätzlicher Betonstahlbewehrung	30
2.1.3 Randbedingungen und Anwendungsgrenzen	14	2.7.4 Querschnittsergänzungen mit Beton und zusätzlicher Betonstahlbewehrung	32
2.1.4 Bemessungsvorgaben, -regeln und Zulassungen	15	2.7.5 Verstärkung mit Stahlkonstruktionen	33
2.1.5 Vor- und Nachteile	15	3 Erfahrungssammlung Brückenverstärkungen	35
2.2 Querkraftverstärkung mit Stabspanngliedern oder Schublaschen aus Stahl	17	3.0 Allgemeines	35
2.2.1 Technik und Ausführung	17	3.1 Zusätzliche Vorspannung	36
2.2.2 Anwendungsbereiche	18	3.1.1 Bestandsaufnahme: Beispiele Brückenverstärkungen	36
2.2.3 Randbedingungen und Anwendungsgrenzen	18	3.1.2 Gründe für die Verstärkungsmaßnahme ...	37
2.2.4 Bemessungsvorgaben, -regeln und Zulassungen	18	3.1.3 Ausführungsdetails	38
2.2.5 Vor- und Nachteile	19	3.1.4 Nutzungseinschränkungen	39
2.3 Aufbeton mit Verdübelung	19	3.1.5 Veränderung der Brückenklassen	41
2.3.1 Technik / Ausführung	19	3.1.6 Wirtschaftlichkeit	42
2.3.2 Randbedingungen und Anwendungsgrenzen	20	3.2 Querkraftverstärkung mit Stabspanngliedern oder Schublaschen aus Stahl	44
2.3.3 Bemessungsvorgaben, -regeln und Zulassungen	21	3.2.1 Bestandsaufnahme: Beispiele Brückenverstärkungen	44
2.3.4 Vor- und Nachteile	21	3.2.2 Gründe für die Verstärkungsmaßnahme ...	45
2.4 Zusätzliche Bewehrung in Nuten	21	3.2.3 Ausführungsdetails	45
2.4.1 Technik / Ausführung	21	3.2.4 Nutzungseinschränkungen	46
2.4.2 Anwendungsbereiche	22	3.2.5 Veränderung der Brückenklassen	47
2.4.3 Randbedingungen und Anwendungsgrenzen	22	3.2.6 Wirtschaftlichkeit	48
2.4.4 Bemessungsvorgaben, -regeln und Zulassungen	22	3.3 Aufbeton mit Verdübelung	48
2.4.5 Vor- und Nachteile	22	3.3.1 Bestandsaufnahme: Beispiele Brückenverstärkungen	48
2.5 Aufgeklebte CFK-Lamellen	23	3.3.2 Gründe für die Verstärkungsmaßnahme ...	49
2.5.1 Technik / Ausführung	23	3.3.3 Ausführungsdetails	49
2.5.2 Anwendungsbereiche	23	3.3.4 Nutzungseinschränkungen	50
2.5.3 Randbedingungen und Anwendungsgrenzen	24	3.3.5 Veränderung der Brückenklassen	50
2.5.4 Bemessungsvorgaben, -regeln und Zulassungen	25	3.3.6 Wirtschaftlichkeit	51
2.5.5 Vor- und Nachteile	25	3.4 Zusätzliche Bewehrung in Nuten	51
2.6 In Schlitze eingeklebte CFK-Lamellen	25	3.4.1 Bestandsaufnahme: Beispiele Brückenverstärkungen	51
		3.4.2 Gründe für die Verstärkungsmaßnahme ...	52
		3.4.3 Ausführungsdetails	52
		3.4.4 Nutzungseinschränkungen	53

3.4.5	Veränderung der Brückenklassen	53
3.4.6	Wirtschaftlichkeit.....	53
3.5	Aufgeklebte CFK-Lamellen	53
3.5.1	Bestandsaufnahme: Beispiele Brückenverstärkungen	53
3.5.2	Gründe für die Verstärkungsmaßnahme...	54
3.5.3	Nutzungseinschränkungen	54
3.5.4	Veränderung der Brückenklassen	55
3.5.5	Wirtschaftlichkeit.....	55
3.6	In Schlitze eingeklebte CFK-Lamellen	56
3.6.1	Bestandsaufnahme: Beispiele Brückenverstärkungen	56
3.6.2	Gründe für die Verstärkungsmaßnahme...	56
3.6.3	Ausführungsdetails	57
3.6.4	Nutzungseinschränkungen	57
3.6.5	Veränderung der Brückenklassen	57
3.6.6	Wirtschaftlichkeit.....	58
	Literatur	59
	Anhang: Erfahrungssammlung „Verstärkung von Betonbrücken“	

Abkürzungsverzeichnis

abZ

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung

BAB

Bundesautobahn

BASt

Bundesanstalt für Straßenwesen

BK 30, BK 30/30, BK 60, BK 60/30

Brückenklassen nach DIN 1072

BW

Bauwerk

CFK-Lamelle

Kohlefaserlamelle

GA

Gussasphalt

HDW(S)

Höchstdruckwasserstrahlen

Lkw

Lastkraftwagen

LM 1

Lastmodell 1 nach DIN-Fachbericht 101

LSA

Lichtsignalanlage

OS-B, -C, -D

*Oberflächenschutzsysteme nach ZTV-ING – Teil 3
Massivbau – Abschnitt 4 Schutz und Instandsetzung
von Betonbauteilen*

PCC-Mörtel

Zementmörtel/Beton mit Kunststoffzusatz

PC-Mörtel

Reaktionsharzmörtel/Reaktionsharzbeton

SMA

Splittmastixasphalt

SLW

Schwerlastwagen

SPCC-Mörtel

Spritzmörtel/-beton mit Kunststoffzusatz

SV-Beton

Selbstverdichtender Beton

TBW

Teilbauwerk

ZiE

Zustimmung im Einzelfall

1 Einleitung

1.1 Veranlassung

Die Anforderungen an Brückenbauwerke im Bestand haben sich in den vergangenen Jahren infolge der steigenden Verkehrszahlen, vor allem im Bereich des Güterverkehrs, deutlich erhöht und werden laut aktuellen Studien in den nächsten Jahren weiter steigen (NAUMANN, 2011; BMVBS, 2013). Vor allem die Beförderungsleistung auf Bundesfernstraßen hat in den vergangenen Jahrzehnten stark zugenommen (Bild 1). Dabei ist für Brücken insbesondere die damit einhergehende Zunahme des Schwerlastverkehrs entscheidend (NAUMANN, 2011), die sich auch in der Steigerung des zulässigen Gesamtgewichts für Einzel- und Sattelfahrzeuge von 22,5 Tonnen (t) im Jahr 1950 auf aktuell 44 t (im kombinierten Verkehr) widerspiegelt (Bild 2).

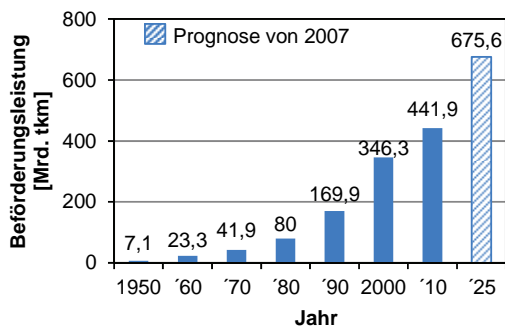


Bild 1: Entwicklung der Beförderungsleistung im Straßengüterverkehr (BMVBS, 2013)

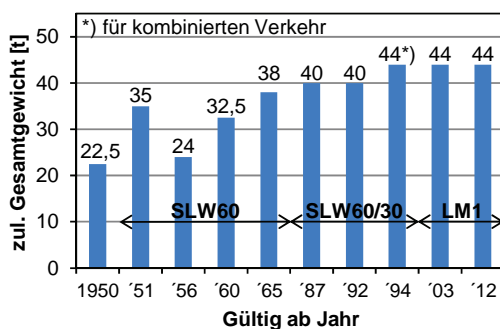


Bild 2: Entwicklung des zulässigen Gesamtgewichts für Einzel- oder Sattelfahrzeuge (BMVBS, 2013)

Durch die erhöhte Beanspruchung sowie durch verschobene Erhaltungsinvestitionen aus der Vergangenheit hat sich der anhand von Zustandsnoten bewertete Zustand vieler Brücken in den letzten Jahren deutlich verschlechtert (BMVBS, 2013). Zudem treten aufgrund der Altersstruktur der Brücken vornehmlich in den alten Bundesländern verstärkt Schäden auf (Bild 3), sodass in Zukunft bestehende Betonbrücken im Rahmen der Instandsetzung (Beibehaltung der Brückenklasse) bzw.

der Ertüchtigung (Erhöhung der Brückenklasse) vermehrt verstärkt werden müssen.

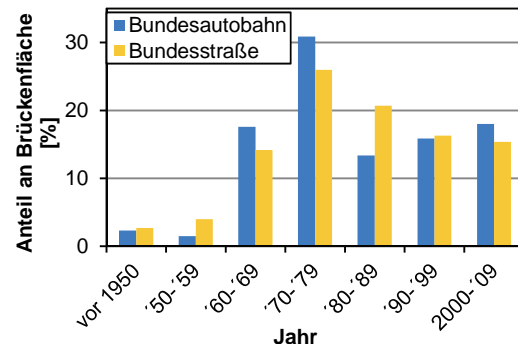


Bild 3: Altersstruktur der Brücken an Bundesfernstraßen bezogen auf die Brückenfläche des Bundesfernstraßennetzes [%] (BMVBS, 2013)

Darüber hinaus wurden die Bemessungsgrundlagen und -ansätze der Einwirkungs- und Bemessungsnormen an neue Erkenntnisse angepasst. So wurden in älteren Normengenerationen z.B. die Beanspruchungen durch Temperatur oder die besonderen konstruktiven Randbedingungen im Bereich von Koppelfugen nicht oder nicht ausreichend berücksichtigt. Aufgrund der erhöhten Verkehrsbelastung, des schlechten Zustands und der unzureichenden normativen Grundlagen im Entstehungszeitraum weist eine Vielzahl von Brücken Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsdefizite auf. Für die Bewertung der Defizite wurde die Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand (BMVBS, 2011) erarbeitet. Da ein Ersatzneubau der betreffenden Brücken in vielen Fällen nicht möglich bzw. sinnvoll ist, gewinnt die Analyse möglicher Verstärkungstechniken in Hinblick auf Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit zunehmend an Bedeutung.

1.2 Zielsetzung und Vorgehen

Ziel des Forschungsvorhabens ist zum einen die Sammlung und Bewertung ausgewählter Verstärkungsmaßnahmen, die bei der Instandsetzung und Ertüchtigung von Betonbrücken durchgeführt wurden. Die Bewertung von Anwendbarkeit, Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit der Verstärkungstechniken im Rahmen der Erfahrungssammlung soll dazu beitragen, zukünftige Verstärkungen effektiver und wirtschaftlicher planen und umsetzen zu können. Hierzu wird in Kapitel 2 zunächst der Stand der Kenntnisse der Verstärkungstechniken vorgestellt. Kapitel 3 gibt einen Überblick über die von den Straßenbauverwaltungen und Ingenieurbüros zur Verfügung gestellten repräsentativen Anwendungsfälle. Anschließend werden ausgewählte erfolgreiche Verstärkungsmaßnahmen (Po-

sitivbeispiele) im Rahmen der Erfahrungssammlung „Verstärkung von Betonbrücken“ vorgestellt.

2 Stand der Kenntnisse Verstärkungstechniken

2.0 Allgemeines

Im Folgenden werden wesentliche Aspekte und Erkenntnisse zu den einzelnen Verstärkungstechniken vorgestellt. Neben Angaben zur Technik und Ausführung sowie der Anwendungsbereiche und Leistungsfähigkeit werden jeweils die notwendigen Randbedingungen und Anwendungsgrenzen sowie Vor- und Nachteile vorgestellt. Wesentliche Grundlage der Literaturrecherche bilden der Schlussbericht des Forschungsvorhabens „Analyse möglicher Verstärkungsverfahren (Modul II)“ (HEGGER, 2013b) und der „Sachstandsbericht Verstärkungsverfahren“ (SCHNELLENBACH-HELD, 2010). Bezüglich der Beschreibung der Defizite, die eine Verstärkung erforderlich machen, wird auf (SCHNELLENBACH-HELD, 2010) verwiesen.

2.1 Zusätzliche Vorspannung

2.1.1 Technik und Ausführung

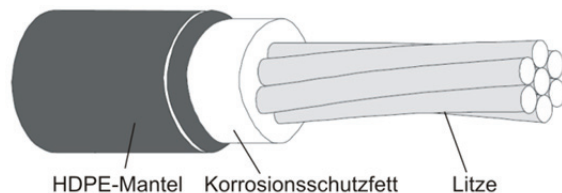
Ziel der nachträglichen Einleitung von Druckspannungen in Brückenlängsrichtung ist es zum einen, den Übergang vom ungerissenen (Zustand I) in den gerissenen Zustand (Zustand II) so zu verschieben, dass das Dekompressionsmoment des Querschnitts gesteigert wird (Gebrauchstauglichkeit). Zum anderen wird durch die zusätzlichen Druckspannungen die Tragfähigkeit gesteigert, so dass höhere Beanspruchungen aufgenommen werden können.

Für die Planung von Verstärkungen mit zusätzlichen Spanngliedern gelten grundsätzlich die für Neubauten erstellten Vorgaben von DIN EN 1992-2 und der Zulassungen für Spannglieder und Spannverfahren. Weitere Planungsgrundsätze können den Erläuterungen zur „Richtlinie für Betonbrücken mit externen Spanngliedern“ entnommen werden, die zwar ebenfalls für Neubauten konzipiert wurde, nach STANDFUSS (1998b) aber auch bei Verstärkungen mit externen Spanngliedern (z.B. bei der Konstruktion von Umlenkelementen) genutzt werden kann. Da eine Verstärkungsmaßnahme Bauen im Bestand darstellt, sind nach PONZEL (2005) Abweichungen von der gültigen Norm eventuell sinnvoll. Die Abweichungen erfolgen in Abstimmung mit der zuständigen Straßenbauverwaltung.

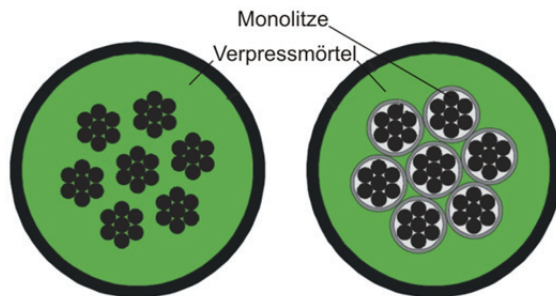
Im Folgenden werden einzelne Aspekte zur Technik und Ausführung, wie die Eigenschaften der Spannglieder und der Spanngliedführung sowie Besonderheiten bei der Herstellung von Verankerungskonstruktionen, erläutert.

Eigenschaften der Spannglieder

Da die Herstellung eines kontinuierlichen Verbundes zwischen Brückenüberbau und Spannglied in der Regel zu kostenintensiv ist, wird bis auf wenige Ausnahmen die ausführungstechnisch sicherere und einfachere sowie wirtschaftlichere Lösung der Vorspannung ohne Verbund gewählt (HARESCHE, 2000; SCHNELLENBACH-HELD, 2010). Als Spannglieder eignen sich hierbei alle dauerkorrosionsgeschützten Systeme, wobei hauptsächlich siebendrähtige Spannlitzen oder Drähte zum Einsatz kommen, die durch Hüllrohre aus PE (Polyethylen) oder HDPE (High Density Polyethylen) geschützt werden (Bild 4). Innerhalb des Hüllrohres werden die Litzen zusätzlich durch Verpressmaterial geschützt, wobei verschiedene Materialien (Zementmörtel, Wachse, Epoxidharze, Polyurethan und Fette) zum Einsatz kommen (HEGGER, 2013b). Somit weisen externe Spannglieder immer einen mindestens doppelten (Hüllrohr und Verpressmaterial), in der Regel sogar mehrfachen Korrosionsschutz auf, da bei Verwendung von Monolitzen innerhalb eines Spanngliedes diese ihrerseits bereits über einen doppelten Korrosionsschutz verfügen (WICKE, 2001).



a) Monolitze



b) Einzelspannglied

Bild 4: Aufbau externer Spannglieder nach ROMBACH (2001)

Der Einbau der Spannglieder im Inneren des Hohlkastens oder neben den Stegen von Plattenbalken

ermöglicht eine bessere Kontrollierbarkeit. Zum einen ermöglicht der freie Zugang der Spannglieder jederzeit eine visuelle Kontrolle. Zum anderen sind durch die Injektion mit einer dauerplastischen Masse auch nachträgliche Kontrollen der Spannkraft möglich und die Spannglieder können nötigenfalls auch ausgewechselt werden. So sind die derzeit in Deutschland zugelassenen Spannglieder einfach einzubauen, zu kontrollieren, nachzuspannen und ohne besonderen Aufwand auszuwechseln (SCHNELLENBACH-HELD, 2010).

Spanngliedführung

Bei den extern geführten Spanngliedern wird grundsätzlich zwischen zentrisch oder exzentrisch gerader und polygonaler Spanngliedführung unterschieden (Bild 5). Die gerade Spanngliedführung ist dabei hinsichtlich Konstruktion und Ausführung die einfachere Variante, da neben den notwendigen Verankerungsstellen keine Umlenkstrukturen benötigt werden. Bei der polygonalen Spanngliedführung sind hingegen Umlenkstrukturen erforderlich, die in der Regel an vorhandenen Querträgern, zusätzlich angebrachten Konsolen oder Stahlkonstruktionen montiert werden.

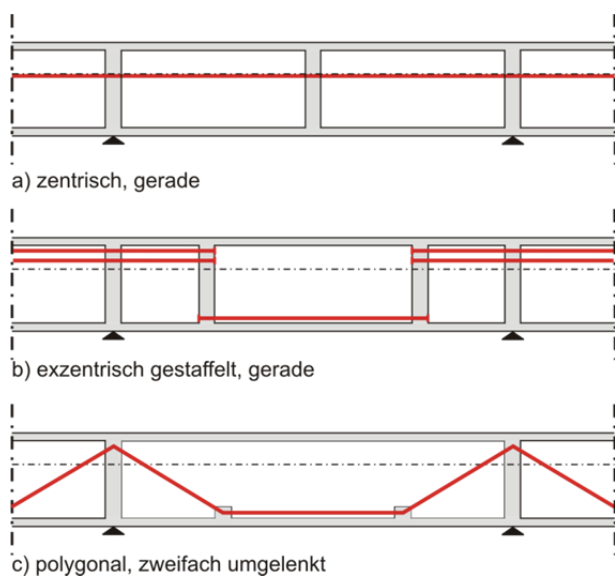


Bild 5: Mögliche Spanngliedführungen am Beispiel einer Hohlkastenbrücke

Durch die polygonale Spanngliedführung können zusätzlich zur Normalkraftwirkung auch den Einwirkungen entgegen gerichtete Umlenkkräfte und damit günstig wirkende Momente erzeugt werden. Aufgrund der geringen Querschnittshöhen sind umgelenkte Spanngliedführungen in vielen Fällen jedoch nicht wirtschaftlich, da Zusatzkosten für die Konstruktion der Umlenkelemente entstehen. Daher werden für ältere Spannbetonbrücken in der

Regel zentrische, gerade geführte Spannglieder verwendet (HAVERESCH, 2000).

Verankerungs- und Umlenkstrukturen

Die Krafteinleitung zusätzlicher externer Spannglieder in das vorhandene Tragwerk ist durch Verankerungs- oder Umlenkstrukturen sicherzustellen. Hierbei sollten die Kräfte möglichst direkt in den Querschnitt eingeleitet werden, sodass eine Anordnung der Spannglieder in der Nähe von Stegen oder Fahrbahn- bzw. Bodenplatte anzustreben ist (HAVERESCH, 2000 / 2011, NEUSER, 2003). Die Lage der Krafteinleitungspunkte in Querrichtung ist außerdem so zu wählen, dass möglichst keine oder nur unerhebliche Überschneidungen der Lasteinleitungsbereiche entstehen. Als Anhaltswert für den Abstand der Anker kann laut (HAVERESCH, 2000 / 2011) die halbe Querträgerdicke angegeben werden.

Hauptsächlich kommen Verankerungen in vorhandenen Querträgern oder in anbetonierten Ankerblöcken zum Einsatz. Einige Bauformen von robusten Verankerungskonstruktionen sind in Bild 6 dargestellt (NOVÁK, 2015). Die Realisierbarkeit der Verankerung an vorhandenen Querträgern wird im Wesentlichen durch die vorhandene Betonfestigkeit und die Dicke des Querträgers bestimmt, der ggf. durch zusätzliche Bewehrung oder Quervorspannung verstärkt werden muss (HEGGER, 2013b). Hinsichtlich der häufig anzutreffenden Überfestigkeiten älterer Betone kann eine genauere Bestimmung der tatsächlich vorhandenen Betondruckfestigkeit sinnvoll sein (HAVERESCH, 2011). Bei zusätzlich angebrachten Ankerblöcken aus Beton sollen die Kräfte am Ankerblock möglichst stegnah im Bereich der Schwerachse des Gesamtquerschnitts eingeleitet werden, um die Biegemomente infolge Vorspannung gering zu halten (ZECH, 2005). Da die Kraftübertragung zwischen Überbau und anbetoniertem Ankerblock über Reibung erfolgt, ist die gründliche Freilegung der Anschlussfuge zwischen Alt- und Neubeton durch Hochdruckwasserstrahlen für die konstruktive Durchbildung des anbetonierten Ankerblocks entscheidend. So muss durch sorgfältiges Aufrauen der Betonoberfläche des Überbaus sowie einer zusätzlich aufgebrachten Quervorspannung ein ausreichender Verbund hergestellt werden, der die Verankerungskonstruktion schubfest mit dem Überbau verbindet (SCHNELLENBACH-HELD, 2010). Ein Beispiel für eine Verankerung zusätzlicher externer Spannglieder in einer nachträglich angebrachten, quer vorgespannten Steglisene zeigt Bild 7.

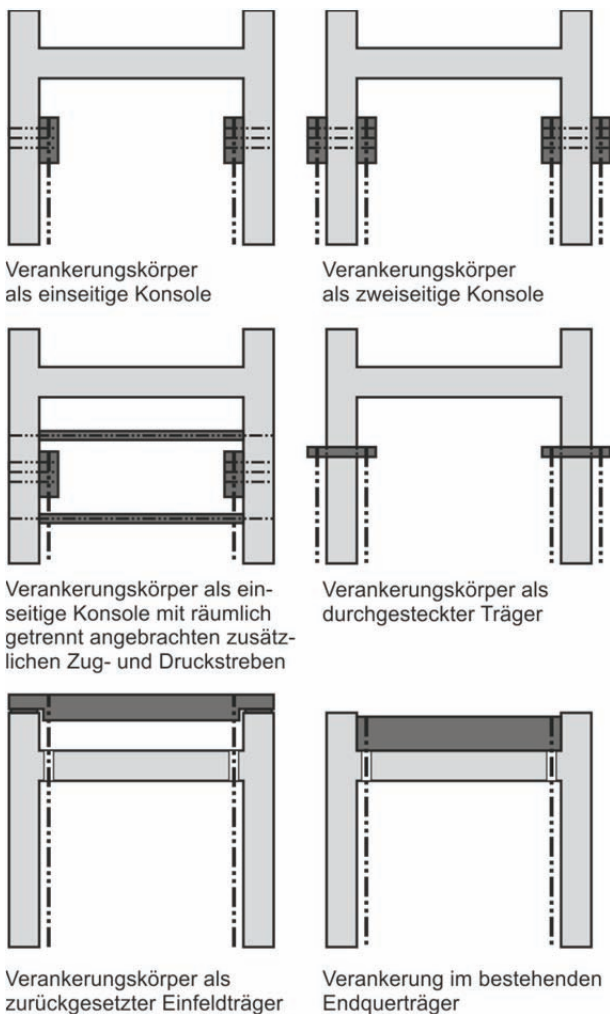


Bild 6: Bauformen robuster Verankerungskonstruktionen nach NOVÁK (2015)

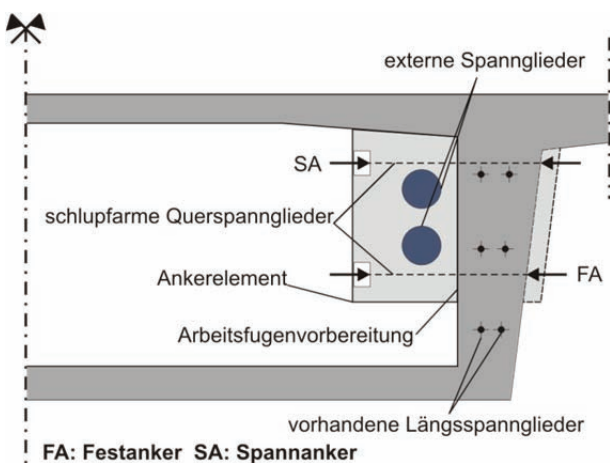


Bild 7: Verankerung zusätzlicher externer Spannglieder in Steglisene nach HAVERESCH (2011)

Notwendige Kernbohrungen in den Querträger (bei Verankerungen an vorhandenen Querträgern) bzw. in den Stegen (für Querspannglieder von nachträglich anbetonierten Ankerblöcken, Bild 7) sind äußerst sorgfältig zu planen und auszuführen,

um vorhandene Bewehrungselemente und Spannglieder nicht zu beschädigen. Entsprechende Sondierungen müssen durchgeführt werden, um einen erfahrungsgemäß einzuhaltenden Mindestabstand von 10 cm (HAVERESCH, 2011) sicherzustellen. Ist aufgrund beengter Platzverhältnisse ein Einbau von Wendeln gemäß Zulassung zur Krafteinleitung nicht möglich, können verkürzte Wendel mit vergrößerten Ankerplatten verwendet werden. Neben diesen Möglichkeiten für die Spanngliederverankerung sind auch Sonderlösungen denkbar, etwa Verankerungen an zusätzlichen Einbauteilen aus Stahl.

Zur vertikalen und/oder horizontalen Umlenkung der Spannglieder sind Umlenkstrukturen erforderlich. Bei der Bemessung der Umlenkstrukturen müssen sowohl planmäßige (α) als auch unplanmäßige Umlenkwinkel ($\Delta\alpha$) in alle Richtungen beachtet werden, die abhängig von der Zulassung des jeweiligen Spannverfahrens sind und in der Regel ca. $\alpha = 1^\circ$ und mindestens $\Delta\alpha = \pm 3^\circ$ betragen (HAVERESCH, 2011). Die konstruktive Ausbildung von Umlenkstrukturen erfolgt nach gleichen Gesichtspunkten wie bei den Verankerungen. Ein Beispiel für eine Umlenkung mit Umlenkhalbschalen in der Kernbohrung in einem Querträger zeigt Bild 8. Der Durchmesser der Kernbohrung muss dabei so groß sein, dass auch unter Berücksichtigung der Bautoleranzen das Spannglied nicht in Berührung mit dem Beton geraten kann (HAVERESCH, 2011). Bei im Grundriss gekrümmten Brücken folgen die Spannglieder dem Verlauf der Brücke. Die hierzu erforderlichen horizontalen Umlenkstrukturen haben keine statische Funktion, sondern dienen allein der Führung des Spannglieds. Insbesondere für die Verwendung in Plattenbalkenquerschnitten sind selbstjustierende Umlenkstrukturen entwickelt worden, bei denen unplanmäßige Umlenkwinkel durch Gelenke ausgeglichen werden. (HAVERESCH, 2011, Bild 9).

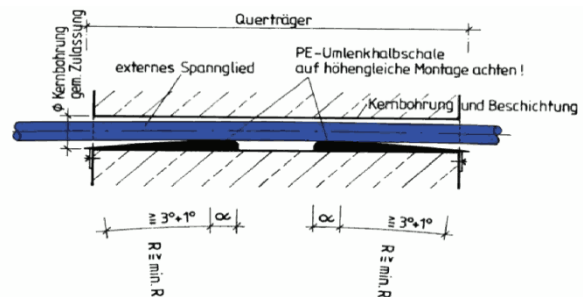


Bild 8: Beispiel für eine Umlenkung mit Umlenkhalbschalen in Kernbohrung (HAVERESCH, 2011)

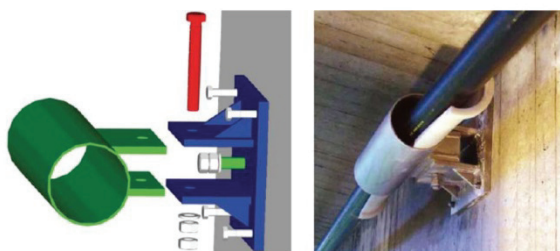


Bild 9: Beweglicher Umlenksattel an einem Plattenballensteg (PONZEL, 2005)

2.1.2 Anwendungsbereiche

Das Verfahren der externen Vorspannung wurde im Brückenbau in Deutschland schon Ende der 1930er Jahre nach dem Patent von Dischinger angewendet. Seit Mitte der 1980er Jahre wurde das Verfahren vermehrt angewendet, um die erkannten Probleme im Bereich von Koppelfugen zu beheben bzw. zu umgehen (STANDFUSS, 1998a). Erfahrungen mit dieser Technologie haben gezeigt, dass sich die Anwendungsbereiche auch für die Brückenverstärkung weiterentwickeln lassen. Zudem wurden auch Brücken mit anderen Problemfeldern häufig auf diese Weise verstärkt. Als besonders vorteilhaft hat sich hierbei die flexible Anwendungsmöglichkeit dieser Verstärkung herausgestellt. So lassen sich gleich mehrere Problemfelder gleichzeitig beseitigen oder vermindern. Durch Auswahl und Anordnung des Vorspannsystems kann die zusätzliche Vorspannung der Problemstellung angepasst und somit das Verstärkungsergebnis optimiert werden. Eine polygonal geführte, zusätzliche Vorspannung erhöht beispielsweise besonders gut die Biege- und Querkrafttragfähigkeit. Die zusätzliche Druckkraft hat zudem positive Auswirkungen auf die Gebrauchstauglichkeit und die Ermüdungsfestigkeit (z.B. im Bereich der Koppelfugen) des verstärkten Bauteils. Das Verfahren ist sowohl zur lokalen als auch zur globalen Ertüchtigung wirtschaftlich anwendbar. Im Folgenden werden die Hauptanwendungsgebiete nach Bild 10 erläutert.

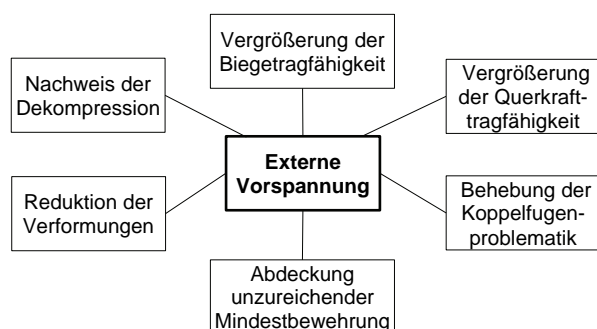


Bild 10: Anwendungsbereiche zusätzlicher Vorspannung

Behebung der Koppelfugenproblematik

Die Ursachen der Koppelfugenproblematik bei mehrfeldrigen Brückenbauwerken sind vielfältig. So können die Nichtberücksichtigung von Zwangsspannungen aus Temperatur und der erhöhten Spannkraftverluste im Bereich der Koppelfuge sowie die Kopplung aller Spannglieder in einem Querschnitt, fehlerhafte Annahmen über die Betonqualität (z.B. Kiesnester, reduzierte Betonzugfestigkeit) in den Koppelfugenbereichen oder ein zu geringer Anteil Betonstahlbewehrung im Fugbereich zu Schäden führen. Dabei kann ein Zusammenhang zwischen dem Schadensausmaß und dem Brückenbaujahr bzw. den gültigen Regelwerken zum Entwurfszeitpunkt festgestellt werden (IVANYI, 2001 / 2002). So wurden die Rissbreiten bei Brücken mit Baubeginn nach 1969 durch die Einführung einer höheren Mindestbewehrung aus geripptem Betonstahl in den Koppelfugen deutlich reduziert. Zudem sind Bauwerke ab 1977 nochmals deutlich unkritischer zu betrachten, da ab 1977 erstmals lineare Temperaturunterschiede bei der Bemessung berücksichtigt wurden. Nach 1980 durften zudem nicht mehr sämtliche Spannglieder in einer Arbeitsfuge gekoppelt werden, sondern es mussten fortan mindestens 30 % der Spannglieder ungekoppelt durchgeführt werden.

Durch die Anwendung von zusätzlicher Vorspannung als Verstärkungstechnik können durch die zusätzlich aufgebrachte Spannungskomponente in Normalenrichtung eines Querschnitts offene Risse in Koppelfugenbereichen dauerhaft geschlossen werden. Die Korrosionsgefährdung der gekoppelten Spannglieder ist damit unterbunden und die Dauerhaftigkeit erfolgreich wiederhergestellt. Außerdem wird die zeitgleich beeinträchtigte Ermüdungstragfähigkeit der Koppelfugen durch Reduzierung der Spannungsschwingbreite im Zustand II weitgehend wiederhergestellt.

Abdeckung unzureichender Mindestbewehrung / Verringerung der Rissbreiten vorhandener Risse

Bei den Regelungen zur Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite haben sich in den vergangenen Jahrzehnten deutliche Änderungen und Anpassungen ergeben. So wurde eine Mindestbewehrung 1953 nur für Bauteile mit Vorspannung ohne Verbund und erst 1966 für alle Spannbetonbrücken eingeführt (SCHNELLENBACH-HELD, 2010). Der zu geringe Anteil an Betonstahlbewehrung führt insbesondere bei älteren Brücken zu unkontrollierten Rissbreiten. Die bei zu geringer Mindestbewehrung vorliegende Überbeanspru-

chung der Betonstahlbewehrung kann durch eine globale Verstärkung mittels zusätzlicher Spannglieder behoben und offene Risse können geschlossen werden.

Reduktion der Verformungen

Die durch eine Vorspannung aufgebrachtene Verformungen wirken insbesondere bei polygonalem Spanngliedverlauf den Verformungen infolge äußerer Lasten entgegen. Somit können durch das Aufbringen einer zusätzlichen Vorspannung die Durchbiegungen und Verformungen des Bauwerkes verringert werden.

Nachweis der Dekompression

Der Nachweis der Dekompression verlangt, dass unter der maßgebenden Einwirkungskombination keine Zugspannungen im Brückenquerschnitt auftreten. Falls der Nachweis der Dekompression bei einer Bestandsbrücke infolge gestiegener Lasten nicht mehr erfüllt ist, kann der gesamte Brückenquerschnitt mittels zusätzlicher Spannglieder überdrückt werden, sodass der Nachweis der Dekompression wieder erfüllt wird.

Vergrößerung der Biegetragfähigkeit

Aufgrund der gestiegenen Belastung aus Verkehr und der zusätzlichen Schnittgrößen aus dem Temperaturlastfall, die nach HAVERESCH (2011) bis zu 50 % der Schnittgrößen des Lastfalls Verkehr betragen können und die bei der Bemessung vor 1977 nicht berücksichtigt wurden, können sich Defizite beim Nachweis der Biegetragfähigkeit ergeben. Nach BUSCHMEYER (2009) besteht vor allem für Brücken mit einer Einstufung in eine geringere Brückenklasse als BK 60 Handlungsbedarf, um die Tragsicherheit auch bei steigender Verkehrsbelastung sicherstellen zu können. Eine Möglichkeit der globalen Verstärkung der Biegetragfähigkeit bietet die zusätzliche Vorspannung, insbesondere bei einer an den Momentenverlauf angepassten Spanngliedführung.

Vergrößerung der Querkrafttragfähigkeit

Ein weiteres Anwendungsgebiet der zusätzlichen Vorspannung ist die Steigerung der Querkrafttragfähigkeit. Vor allem Spannbetonbrücken aus den 1950er und 1960er Jahren weisen nach aktueller Normung keine oder eine deutlich zu geringe Querkraftbewehrung auf (SCHNELLENBACHHELD, 2010). Der Einbau von zusätzlichen Spanngliedern kann als zusätzliche Verstärkungsmaßnahme eingesetzt werden, da eine Erhöhung der Längsspannung den Querkraftwiderstand und insbesondere die Erstrisslast positiv beeinflusst

(HEGGER, 2013a). Vor allem bei polygonaler Spanngliedführung, bei der ein zusätzlicher Vertikalanteil der Vorspannkraft entsteht, kann der Querkraftwiderstand deutlich erhöht werden.

Nutzungsänderung (Traglasterrhöhung)

Eine Verstärkung mit zusätzlichen Spanngliedern kann ebenfalls infolge einer Nutzungsänderung notwendig werden, ohne dass zwangsläufig ein Schaden vorliegen muss. Dies betrifft etwa die Anordnung einer zusätzlichen Fahrspur oder der Auslegung der Brücke für ein höheres Lastmodell. Da in den 1980er und 1990er Jahren allerdings schon viele Brückenbauten verstärkt wurden, muss jeweils im Einzelfall überprüft werden, ob eine zusätzliche Verstärkung konstruktiv möglich ist (BUSCHMEYER, 2009).

2.1.3 Randbedingungen und Anwendungsgrenzen

Die Anwendbarkeit bzw. Realisierbarkeit einer Verstärkung mit zusätzlicher Vorspannung hängt von verschiedenen Randbedingungen und lokalen Gegebenheiten ab. Hierbei müssen die folgenden Kriterien berücksichtigt werden (HEGGER, 2013b):

Zugänglichkeit

Die Einbaubarkeit zusätzlicher Spannglieder kann nur sichergestellt werden, wenn die Zugänglichkeit zum Gesamtbauwerk und die Zugänglichkeit der Stellen am Bauwerk, an denen die Bauelemente (z.B. Umlenkstrukturen, Stahlbeton-Ankerblöcke) angebracht werden müssen, gegeben sind. Die Zugänglichkeit zum Bauwerk kann durch verschiedene Hilfsmittel wie Gerüste, Kranausleger oder Hubbühnen sichergestellt werden.

Zudem sind die vorhandenen Platzverhältnisse zur Realisierung der Verankerung ein wichtiges Anwendungskriterium, da z.B. zwischen Kammerwand des Brückenwiderlagers und dem Endquerträger ausreichend Raum vorhanden sein muss, um Anker Elemente und Vorspannpresen anbringen zu können. Mindestwerte notwendiger Abstände werden in Spannstahllzulassungen gegeben. Erfahrungsgemäß ist ein Mindestabstand von 80 cm gemäß Bild 11 erforderlich.

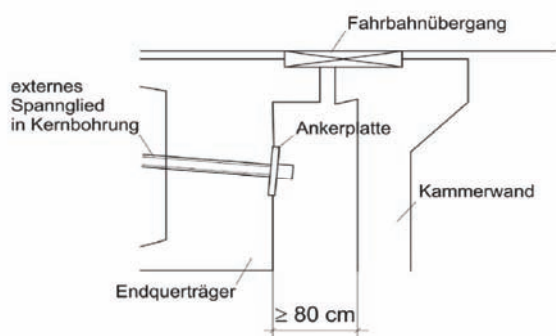


Bild 11: Erforderlicher Platzbedarf bei Querträgerverankerung

Ausreichende Abmessungen

Um eine Krafteinleitung und Unterbringung der zusätzlichen Bauelemente sicherzustellen, müssen alle Bauteile eines Brückenüberbaus auf ihre Abmessungen hin überprüft werden. Es sind die Breiten der Stege und die Dicken der Fahrbahn- und Bodenplatten sowie der vorhandenen Querträger hinsichtlich einzuleitender Kräfte, z.B. aus Umlenkstätteln, zu betrachten. Die Abmessungen müssen außerdem eine Platzierung der Anbauteile gestatten.

Ausreichendes Lichtraumprofil der Brücke

Abhängig von dem zu unterführenden Verkehr (Straßen- und Eisenbahntrassen, Rad- und Fußwege etc.) und der Konstruktionshöhe der zu verstärkenden Brücke können sich ggf. Einschränkungen aufgrund des einzuhaltenden Lichtraumprofils ergeben. So sind beispielsweise nach Straßenverkehrsordnung (§22, Absatz 2, Satz 1) Fahrzeuge inklusive Ladung bis zu einer Höhe von 4 m auf deutschen Straßen zulässig, denen ein gefahrloses Befahren der Straßen ermöglicht werden muss. Dabei sind etwaige Überhöhungen von Ladungen und die damit einhergehende Gefahr der Beschädigung zusätzlicher Spannglieder zu beachten. Da bei der Verwendung eines Hohlkastenquerschnittes die Unterbringung der Anker- und Umlenkstrukturen sowie der Spannglieder in der Regel im Inneren des Hohlkastens erfolgt, sind bei Hohlkastenbrücken keine Probleme zu erwarten. Einschränkungen des Lichtraumprofils könnten sich bei der Anordnung von Umlenk- oder Verankerungskonstruktionen vorwiegend bei Plattenbalken sowie bei der Unterspannung einer Platte ergeben.

Zulassung

Im Zuge der Planung der Verstärkungsmaßnahme ist die Anwendung der für den Brückenneubau konzipierten Zulassung für die Anwendung an Bestandsbauwerken zu überprüfen. Diese hängt von

Faktoren wie der vorhandenen Betonfestigkeit, der Spanngliedführung und der Verankerung bzw. Umlenkung der einzubauenden Spannglieder ab.

Druckspannungsbegrenzung

Da bei einer Verstärkung mit zusätzlichen Spanngliedern zusätzliche Druckspannungen in den Querschnitt eingeleitet werden, muss überprüft werden, ob der Nachweis der zulässigen Betondruckspannungen auch unter Berücksichtigung der zusätzlichen Vorspannung erbracht ist. Da der Querschnitt und die Betonfestigkeit gegeben sind, stellt dieser Aspekt häufig die maßgebende Begrenzung der möglichen zusätzlichen Vorspannung dar. Mögliche Überfestigkeiten können durch Überprüfungen am Bauwerk ermittelt werden.

Spannungsumverteilung

Durch die Spannungsumverteilung in Brückenlängsrichtung wird grundsätzlich auch das Quersystem beeinflusst. Insbesondere in den Krafteinleitungsbereichen sind die Spannungen kritisch zu betrachten, um das Quertragverhalten lokal nicht zu verschlechtern.

2.1.4 Bemessungsvorgaben, -regeln und Zulassungen

Die Bemessung einer zusätzlichen Vorspannung erfolgt nach den gültigen Normen für Brückenneubauten (DIN EN 1992-2). Weitere Regelungen sind den Zulassungen für die Spannverfahren und der Spannglieder zu entnehmen. Darüber hinaus sind Regelungen und Anweisungen der Obersten Straßenbaubehörden der Länder und des BMVI gegebenenfalls anzuwenden.

2.1.5 Vor- und Nachteile

Im Folgenden werden die für die Verstärkungsanwendung maßgebenden Vorteile einer zusätzlichen Vorspannung nach ROMBACH (2001) und HEGGER (2013b) dargestellt:

Keine Nutzungseinschränkungen

Da die Spannglieder im Inneren von Hohlkästen oder an Stegen von Plattenbalken montiert werden, kann der Einbau ohne größere Verkehrsbeeinflussung und weitgehend witterungsunabhängig erfolgen.

Leichte Kontrollierbarkeit

Extern angeordnete Spannglieder sind besser kontrollierbar als im Verbund liegende Spannglieder.

Allerdings wird die Kontrollierbarkeit an den Verankerungs- und Umlenkstellen durch den umgebenden hochbewehrten Beton eingeschränkt.

Möglichkeit der Nachspann- und Austauschbarkeit

Bei entsprechender Ausführung der Verankerungskonstruktionen können die Spannglieder bei Bedarf nachgespannt werden. Weiterhin können die Spannglieder ggf. durch Spannglieder mit einer höheren Tragfähigkeit ausgetauscht werden.

Geringes Eigengewicht

Die zusätzlichen Spannglieder haben verglichen mit der übrigen Brückenkonstruktion ein geringes Eigengewicht. Daher tragen diese nur unwesentlich zum vorhandenen Konstruktionsgewicht der Brücke bei, sodass nur geringe Zusatzbelastungen entstehen. Verankerungs- und Umlenkstellen können jedoch einzelne Bauteilverstärkungen mit Ortbeton erfordern, die lokal zu einer erhöhten Belastung führen.

Vielfältigkeit der Anwendungsgebiete

Besonders vorteilhaft ist die flexible Anwendungsmöglichkeit der Verstärkung mit zusätzlichen Spanngliedern. Je nach Auswahl und Anordnung eines Vorspannsystems lassen sich gleich mehrere Problembereiche gleichzeitig beseitigen oder vermindern (siehe Kap. 2.1.2).

Den Vorteilen der zusätzlichen Vorspannung stehen einige Nachteile dieser Verstärkungstechnik gegenüber (ROMBACH, 2001; HEGGER, 2013b):

Erschwerte Zugänglichkeit

Ältere Brückenbauwerke sind in der Regel nicht ohne weiteres für den nachträglichen Einbau zusätzlicher Spannglieder konstruiert worden. Daher kann der Einbau der Spannglieder insbesondere bei älteren Hohlkastenquerschnitten aufgrund der schweren Begehrbarkeit oftmals nur von Hand erfolgen.

Erschwerte Handhabbarkeit

Zur Vermeidung von Kopplungen sind bei einem nachträglichen Einbau sehr lange Spannglieder erforderlich. Die Längenbeschränkung von maximal 200 m nach DIN EN 1992-2 wird dabei oft überschritten. Die Länge und das damit verbundene hohe Gewicht der Spannglieder erschwert die Handhabbarkeit beim manuellen Einbau und kann bei gleichzeitig schlechter Zugänglichkeit zu Erschwernissen führen.

Ausbildung der Anker- und Umlenkstrukturen

Insbesondere bei polygonaler Spanngliedführung werden für die Sicherstellung der Kräfteinleitung zusätzlich aufwändige Anker- und Umlenkstrukturen notwendig. Diese Konstruktionen sind stets sehr sorgfältig zu planen und auszuführen, was sich in hohen Kosten niederschlägt. Neben begrenzten Platzverhältnissen können auch zu geringe Abmessungen der vorhandenen Bauteile eine Anordnung erschweren oder unmöglich machen.

Beschädigung vorhandener Bewehrungselemente

Weitere Schwierigkeiten können bei der Anbringung der Spannglieder entstehen. Da bei nicht vorhandenen Öffnungen in Hohlkästen und der gleichzeitigen Notwendigkeit der Spanngliedführung durch vorhandene Querträger mitunter Kernbohrungen erforderlich sind, kann dies zu Beschädigungen vorhandener Bewehrungselemente führen.

Schäden infolge Vandalismus oder Brand

Vor allem bei Plattenbalkenbrücken, bei denen die externen Spannglieder außerhalb eines schützenden Hohlkastens angeordnet werden, müssen mögliche Beschädigungen infolge Vandalismus oder Feuer berücksichtigt werden.

Ästhetik

Die Anordnung der Spannglieder und Umlenkungen ist bei Plattenbalken nur an den Stegseiten möglich und daher immer sichtbar. Dadurch kann das äußere Erscheinungsbild einer Brücke beeinträchtigt werden.

Vorhandene Leitungen und Hindernisse

An vielen Brücken sind Entwässerungs- und andere Leitungen häufig außerhalb des Betonquerschnitts angebracht. Weitere Hindernisse können Steglisenen, Absturzsicherungen oder Querleitungen sein. Oft sind Konstruktionen erst nachträglich angebracht worden und unter Umständen nicht in Bestandsunterlagen erfasst. Die Verlegung der Brückenausstattung ist nicht immer möglich oder nur sehr schwer realisierbar. Dies trifft vor allem auf Brücken in städtischen Bereichen zu.

2.2 Querkraftverstärkung mit Stabspanngliedern oder Schublaschen aus Stahl

2.2.1 Technik und Ausführung

Nachträglich eingebaute Schublaschen oder Stabspannglieder zur Querkraft- oder Torsionsverstärkung werden in der Regel mit Ankerplatten in der Fahrbahn- und der Bodenplatte bzw. am unteren Stegrand verankert (Bild 12). Bei der Verankerung am unteren Querschnittsrand kommen bei ausreichenden lichten Höhen alternativ auch Stahlkonstruktionen zum Einsatz (Bild 12 bis Bild 14). Die Stabspannglieder werden in der Regel unmittelbar neben den Haupt- oder Querträgerstegen entweder frei (Bild 13 und Bild 14) oder eingebunden in eine Betonvorsatzschale (Bild 12) eingebaut.

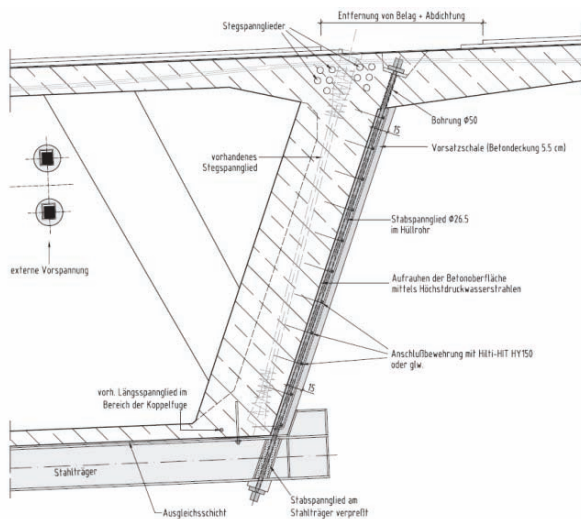


Bild 12: Querkraftverstärkung mit Stabspanngliedern eingebunden in Betonvorsatzschale (Erfahrungssammlung Beispiel 2.5)

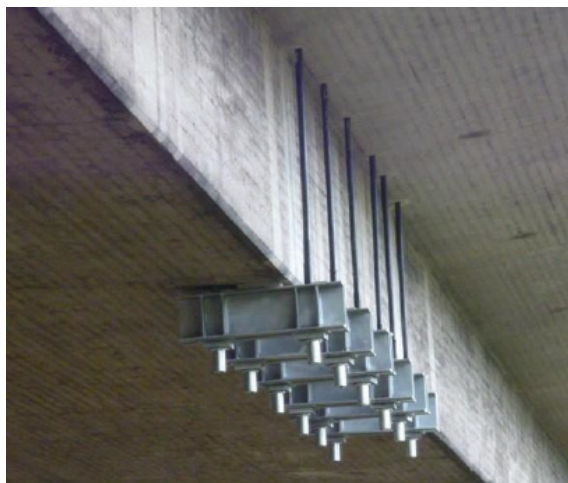


Bild 13: Verankerung von Stabspanngliedern mit einer Stahlkonstruktion – Foto (Erfahrungssammlung Beispiel 2.2)

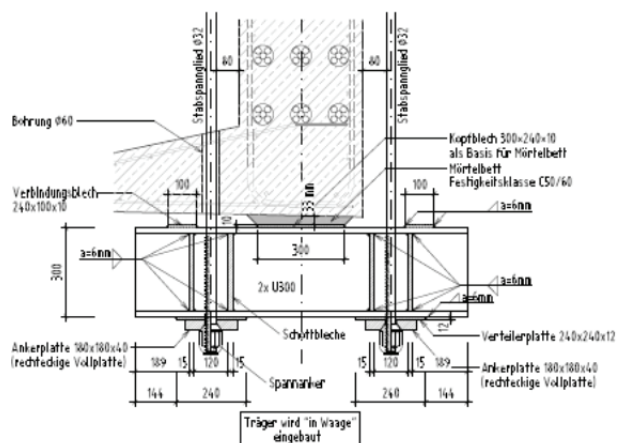


Bild 14: Verankerung von Stabspanngliedern mit einer Stahlkonstruktion – Skizze (Erfahrungssammlung Beispiel 2.2)

Als Schublaschen können Stahllamellen dienen, die beispielsweise als stahlbaumartige U-Bügel-Konstruktion den Steg umschließen und in der Fahrbahnplatte mittels angeschweißter Gewindestäbe verankert werden (Bild 15, ROESER, 2010). Das konstruktive Verkleben der Stahllaschen wird in abZ geregelt.



Bild 15: Stahllaschen als Querkraftverstärkung mit in Bohrlochern eingefädelten Gewindestangen (ROESER, 2010)

Für die Verankerung der nachträglich eingebauten Stäbe oder Spannglieder sind Kernbohrungen innerhalb des Betonquerschnitts, durch die Fahrbahn- oder Bodenplatte erforderlich. Hierbei muss darauf geachtet werden, dass keine Spannglieder oder andere Bewehrungsstäbe beschädigt werden (BMV, 1982). Daher muss vor Erstellung der Kernbohrungen die Lage der vorhandenen Bewehrung identifiziert werden. Da die Bauausführung nicht zwangsläufig mit den Ausführungsplänen übereinstimmt, ist die vorhandene Bewehrung anhand von Ultraschall- oder Radarmessungen (KIND, 2009) zu orten und ein Sicherheitsabstand zwischen Kernbohrung und Bewehrungselement einzuhalten.

über die maximal zulässigen Betondruckspannungen nachgewiesen werden. Zudem darf durch die Verstärkung der Querkraftbewehrung die maximale Druckstreben­tragfähigkeit nicht überschritten werden. Bei einer Querkraftverstärkung mit vorgespannten Stabspanngliedern sind die Spannkraftverluste infolge der Kriechverformungen des Betons im Verankerungsbereich zu berücksichtigen. Weitere Vorgaben bezüglich der Bewehrungselemente sind gegebenenfalls den jeweiligen abZ zu entnehmen.

2.2.5 Vor- und Nachteile

Im Folgenden werden die Vor- und Nachteile der Querkraftverstärkung mit Schubstangen, Stabspanngliedern bzw. Schublaschen beschrieben. Dabei werden sowohl die grundlegenden Eigenschaften des Verfahrens als auch die einzelnen Varianten des Verfahrens bewertet. Die Vorteile sind:

Hoher Verstärkungsgrad

Die Wirksamkeit von Schubbewehrung mit Stabspanngliedern entspricht annähernd der von vorhandener Bügelbewehrung, ist jedoch abhängig von dem Verbundmittel, der Verankerung, der Vorspannung und dem Kriechverhalten des Betons. Im verstärkten Bereich ist eine deutliche Erhöhung der Querkrafttragfähigkeit möglich.

Wartungsarm

Bei einbetonierten Bewehrungsstäben entfällt der nachträgliche Unterhaltungsaufwand, wie z.B. die regelmäßige Auftragung eines Korrosionsschutzes, sowie eine anschließende Materialkontrolle als Folge einer aufwendigen und oft unsicheren Materialverklebung bei aufgeklebten Laschen. Der Schutz vor äußeren Einwirkungen (Brand) entfällt für einbetonierte Bewehrungselemente ebenfalls, da die Verstärkung nicht ungeschützt am Bauteil befestigt wird.

Bewährtes Material

Es können bewährte Materialien wie Baustahl oder Stabspannglieder mit ausgezeichneten Erfahrungswerten verwendet werden, die entweder genormt sind oder eine abZ aufweisen.

Als nachteilig sind die folgenden Punkte zu bewerten:

Risiken beim Einbau

Die Erstellung der für die Verankerung erforderlichen Bohrlöcher durch Fahrbahn und Bodenplatte

oder Stege birgt die Gefahr der Beschädigung vorhandener Tragwerksteile (Spannglieder, Bewehrung).

Schutzmaßnahmen

Die Verankerungen an der Unterseite sowie außen liegende Schubstangen, Stabspannglieder bzw. Schublaschen sind vor Brand und Vandalismus zu schützen. Zudem sind bei allen Bewehrungselementen außerhalb des Steges zusätzliche Korrosionsschutzmaßnahmen erforderlich.

Nutzungseinschränkungen

Für den Einbau der Verankerung am Obergurt ist es erforderlich, Fahrbahnbelag und -abdichtung zu entfernen. Hierdurch entstehen Nutzungseinschränkungen der Brücke während des Einbaus. Zudem wird das Lichtraumprofil unter der Brücke gegebenenfalls durch Ankerkörper langfristig eingeschränkt.

Wirtschaftlichkeit

Bei Plattenbrücken ist das Verfahren zur Vergrößerung der Querkrafttragfähigkeit nicht wirtschaftlich einsetzbar, da anders als bei Hohlkasten- und Plattenbalkenbrücken die Querkraft nicht konzentriert in den Stegen abgetragen wird.

Effizienz

Bei der Nutzung vorgespannter Stabspannglieder ist ein hoher Spannkraftverlust durch Kriechverformungen zu erwarten.

2.3 Aufbeton mit Verdübelung

2.3.1 Technik / Ausführung

Durch das Aufbringen einer zusätzlichen, schubfest verbundenen Ortbetonschicht auf die Fahrbahnplatte einer zu verstärkenden Brücke kann die Druckzone ergänzt werden (Bild 17). Hiermit lässt sich wegen der daraus resultierenden Vergrößerung des Hebelarms der inneren Kräfte, bezogen auf die vorhandene Bewehrung, eine Tragfähigkeitserhöhung des biegebeanspruchten Betonquerschnitts erreichen (SEIM, 2007).

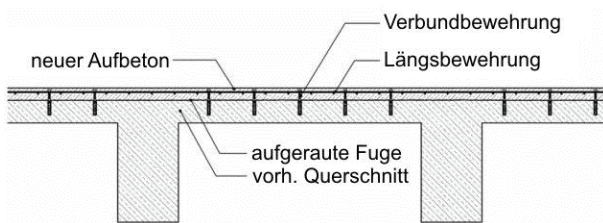


Bild 17: Verstärkung einer Fahrbahnplatte durch Aufbeton mit Verdübelung (SCHNELLENBACH-HELD, 2010)

Der Schubverbund zwischen dem bestehenden Bauteil und der ergänzten Druckzone wird dabei durch die Traganteile der Fugenrauigkeit (Bild 18) (Haftung), Reibung sowie einer Verbundbewehrung (Bilder 19 und 20) sichergestellt.



Bild 18: Aufgeraute Betonplatte des Überbaus (Erfahrungssammlung Beispiel 3.2)



Bild 19: gestaffelte Anordnung der Verbundanker (Erfahrungssammlung Beispiel 3.2)



Bild 20: Bewehrung der Ortbetonergänzung (Erfahrungssammlung Beispiel 3.4)

Da gemäß ZTV-ING (2013) der Einsatz von Spritzbeton oberhalb horizontaler oder schwach geneigter Flächen wegen des unkontrollierten Rückfalls bzw. Rückpralls nicht zulässig ist, erfolgt die Ver-

stärkung durch Aufbeton mit Verdübelung von der Oberseite her stets in Ortbetonbauweise. Die Mindestdicke beträgt dabei in der Regel nicht weniger als 5 cm.

Vorbereitung der Oberfläche

Die Oberflächenbeschaffenheit des zu verstärkenden Bauteils ist für die Qualität des Verbundes zwischen Alt- und Neubeton von wesentlicher Bedeutung. Um die unterschiedlichen Traganteile in der Fuge in möglichst hohem Maß zu aktivieren, ist die Betonunterlage zunächst von Schmutz, Bewuchs und Beschichtungsrückständen zu befreien. Die weitere Vorbehandlung der Oberfläche richtet sich nach der angestrebten Rauigkeitskategorie gemäß DIN EN 1992-1-1. Hierbei werden insgesamt vier Rauigkeitsgrade unterschieden (sehr glatt, glatt, rau, verzahnt). Für die Herstellung einer aufgerauten bzw. einer verzahnten Fuge stehen unterschiedliche Strahlverfahren oder mechanische Bearbeitungsverfahren, wie z.B. Fräsen, zur Verfügung. Im Brückenbau hat sich aufgrund der hohen zu erreichenden Verbundtragfähigkeit die Vorbehandlung mit Höchstdruckwasserstrahlen (HDW) durchgesetzt (HEGGER, 2013b).

Überprüfung der Oberflächenbeschaffenheit

Die Bestimmung der Rautiefe erfolgt in der Regel nach dem Sandflächenverfahren nach Kaufmann. Das Verfahren ist gut an horizontalen Flächen anzuwenden, weist jedoch erhebliche Streuungen in den Ergebnissen auf. Für die Bestimmung der Rautiefe an vertikalen Flächen ist das Verfahren zudem nicht geeignet. Neuere Verfahren, bei denen die Oberflächenstruktur mittels Lasermessung erfasst wird, sind wesentlich genauer. Die mit diesen Verfahren bestimmten Rauigkeiten sind im Vergleich zum Sandflächenverfahren um bis zu 30 % niedriger (HEGGER, 2013b).

Anwendungsbereiche

Die Verstärkungstechnik der Druckzonenergänzung kann, entsprechend dem jeweils vorliegenden Verstärkungsbedarf, sowohl für die Erhöhung der Biege- als auch der Querkrafttragfähigkeit eines Betonbauteils eingesetzt werden. Eine Verstärkungsmaßnahme kann dabei sowohl „lokal“ als auch „global“ erfolgen (SCHNELLENBACH-HELD, 2010).

2.3.2 Randbedingungen und Anwendungsgrenzen

Die Anwendung dieser Verstärkungstechnik erfordert grundsätzlich eine gute Zugänglichkeit der

Oberseite des zu verstärkenden Bauteils. Im Fall der Anwendung bei Brücken sind dazu in der Regel sämtliche Aufbauten und Beläge zu entfernen, was in jedem Fall zumindest eine teilweise Sperrung der Brücke für den Verkehr bedingt (SEIM, 2007).

Der Einbau der gegebenenfalls erforderlichen Verbundbewehrung mittels Injektionsmörtel ist für einige Injektionssysteme gemäß entsprechender abZ nur in ungerissenem Beton möglich. Diese Einschränkung ist somit im Zuge der Planungen durch eine entsprechende Zustandserfassung des Bauwerks bzw. bei der Produktwahl zu berücksichtigen.

Da die mit der Verstärkung einhergehende Erhöhung des Eigengewichtes den erreichbaren Verstärkungseffekt teilweise wieder kompensiert, ist ein effizienter Einsatz des Verfahrens nur für begrenzte Spannweiten sowie in Verbindung mit weiteren Maßnahmen möglich.

Eine ausführliche Untersuchung und Bewertung der Leistungsfähigkeit anhand von Parameterstudien wurde in HEGGER (2013b) durchgeführt. Danach ist die Verstärkungstechnik „Aufbeton mit Verdübelung“ für den Einsatz bei Hohlkasten- und Plattenbalkenbrücken nicht zu empfehlen, da sich hier das erhöhte Eigengewicht sogar nachteilig auswirken kann. Bei Plattenbrücken hingegen können Verstärkungseffekte erzielt werden, die infolge des erhöhten Eigengewichts in der Regel jedoch begrenzt bleiben.

2.3.3 Bemessungsvorgaben, -regeln und Zulassungen

Für die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit sowie im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit gemäß DIN EN 1992-2 ist der durch die Maßnahme erzeugte Gesamtquerschnitt als monolithisch zu betrachten. Darüber hinaus sind Regelungen und Anweisungen der Obersten Straßenbaubehörden der Länder und des BMVI gegebenenfalls anzuwenden. Im Fall der Biegebemessung gilt:

- Die Übertragung der in der Fuge wirkenden Schubkräfte ist nachzuweisen. Kann der Nachweis nicht erbracht werden, ist die Anordnung einer Verbundbewehrung erforderlich. Diese ist sowohl im bestehenden als auch im neuen Beton entsprechend zu verankern. Gemäß der Vorgaben in DIN EN 1992-2/NA darf bei „dynamischer oder Ermüdungsbeanspruchung der Adhäsionsanteil des Betonverbundes nicht in Ansatz gebracht werden“ (NCI zu 6.2.5 (105)).

- Unterscheiden sich die Betondruckfestigkeiten von Bauwerk und Ergänzung, wird näherungsweise die geringere Festigkeit angesetzt.

Bei den Nachweisen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist die Durchbiegungsberechnung unter Ansatz der Einflüsse aus Kriechen und Schwinden des Betons durchzuführen. Bei der Bestimmung der zugehörigen Anteile aus Kriechen und Schwinden gemäß DIN EN 1992-2, Anhang B ist bei größerer geforderter Genauigkeit der Durchbiegungsberechnung eine Streubreite von jeweils +/- 30 % zu berücksichtigen. Auf eine möglichst genaue Berechnung der Verformungen ist besondere Aufmerksamkeit zu richten, da bei der Ausführung eine Reduzierung der Verformungen durch konstruktive Maßnahmen (z.B. planmäßige Überhöhung der Schalung) nicht möglich ist (SEIM, 2007).

2.3.4 Vor- und Nachteile

Die Vorteile des Verfahrens bestehen im Wesentlichen in der Einfachheit der Ausführung und dem damit verbundenen geringen Kostenaufwand.

Als Nachteile der Verstärkung durch die Erweiterung der Druckzone sind folgende Merkmale zu nennen:

- Der positive Effekt der Verstärkung wird durch die Vergrößerung des Eigengewichts zum Teil kompensiert.
- Aus dem vergrößerten Eigengewicht des Überbaus resultiert eine Erhöhung der Lagerkräfte und der Beanspruchung der lastabtragenden Bauteile wie Stützen und Widerlager sowie des Baugrunds.
- Wegen der erforderlichen Arbeiten an der Fahrbahnoberfläche ist während der Verstärkungsmaßnahme eine Sperrung einzelner Fahrspuren oder der gesamten Brücke für den Verkehr erforderlich.

2.4 Zusätzliche Bewehrung in Nuten

2.4.1 Technik / Ausführung

Die prinzipielle Vorgehensweise bei der Ausführung dieser Verstärkungstechnik ist, die für das Verstärkungsziel erforderliche zusätzliche Bewehrung unmittelbar in den bestehenden Betonquerschnitt einzubinden. Dazu werden zunächst maschinell Nuten hergestellt, in die die zusätzliche Stabstahlbewehrung eingefädelt wird. Abschließend werden die Nuten durch Spritz- oder Ortbe-

ton wieder verschlossen, so dass ein monolithischer Querschnitt vorliegt. Bei der Herstellung der hierfür erforderlichen Nuten ist ein hohes Maß an Sorgfalt in Form einer ausführlichen Bestandsaufnahme angebracht, um Beschädigungen an dem zu verstärkenden Bauteil, insbesondere der vorhandenen schlaffen und vorgespannten Bewehrung, zu vermeiden. Die bei früheren Maßnahmen ausgeführte mechanische Herstellung der Nuten mit Betonfräsen führte oftmals zu Schäden an den zu verstärkenden Bauteilen. Erst seit der Entwicklung eines Verfahrens, bei dem die Nuten automatisiert per Höchstdruckwasserstrahl eingebracht werden, kann eine Beschädigung der vorhandenen Bewehrung weitestgehend vermieden werden (RÖDL, 1999). Die Anforderungen an die Geometrie und die Abmessungen der für dieses Verfahren herzustellenden Nuten sind in Bild 21 dargestellt. Zu berücksichtigen ist weiterhin, dass bei vorhandener Querkraftbewehrung (Bügel) das Einfädeln der zusätzlichen Bewehrungsstäbe meist ein Durchtrennen einzelner dieser Querkraftbewehrungselemente erfordert (SCHNELLENBACH-HELD, 2010).

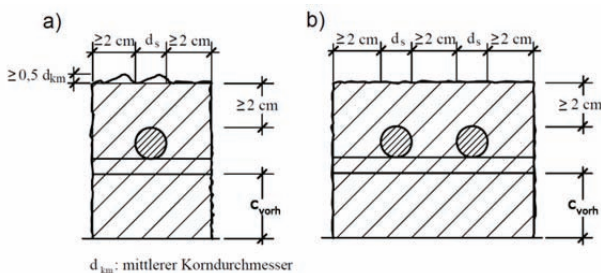


Bild 21: Nutabmessungen; a) Einzelstab, b) Doppelstab (SCHNELLENBACH-HELD, 2010)

2.4.2 Anwendungsbereiche

Die Verstärkungstechnik „Zusatzbewehrung in Nuten“ ist sowohl für die Anwendung bei lokalen als auch bei globalen Verstärkungsmaßnahmen geeignet. In der Praxis wird das Verfahren oftmals bei der lokalen Verstärkung einzelner Tragwerksbereiche, wie beispielsweise der Koppelfugen abschnittsweise hergestellter Spannbetonbrücken, aber auch für die Verstärkung von Überbauten in Querrichtung eingesetzt (SCHNELLENBACH-HELD, 2010).

2.4.3 Randbedingungen und Anwendungsgrenzen

Da bei dieser Verstärkungstechnik im Endzustand ein monolithisches Bauteil vorliegt, gelten die Randbedingungen und Anwendungsgrenzen nach DIN EN 1992-2. Während der Durchführung der

Verstärkungsmaßnahme (Bauzustand) ist die Schwächung des Betonquerschnitts durch das Einbringen der Nuten zu beachten. Bedingt durch die häufig massigen Bauteile bei Ingenieurbauwerken ist dies von untergeordneter Bedeutung. Bei verhältnismäßig dünnen Querschnitten können zusätzliche Überlegungen hinsichtlich einer während der Herstellung notwendigen Abstützung sowie größtmöglicher Nut-Abmessungen erforderlich sein (SCHNELLENBACH-HELD, 2010).

2.4.4 Bemessungsvorgaben, -regeln und Zulassungen

Die Nachweise für ein durch Zusatzbewehrung in Nuten verstärktes Bauteil erfolgen unter Anwendung von DIN EN 1992-2. Darüber hinaus sind Regelungen und Anweisungen der Obersten Straßenbaubehörden der Länder und des BMVI gegebenenfalls anzuwenden.

2.4.5 Vor- und Nachteile

Das Verfahren zeichnet sich durch folgende Vorteile aus:

- Die zusätzliche Bewehrung kann in den bestehenden Querschnitt mit den für die Stahlbetonbauweise üblichen Verbundeigenschaften eingebaut werden.
- Das Tragverhalten der verstärkten Bereiche unterscheidet sich hinsichtlich der Tragfähigkeit, der Rissbildung sowie der Verankerung der Bewehrung nicht von konventionell hergestellten Stahlbetonquerschnitten.
- Zudem wird weder das Erscheinungsbild des Tragwerks in nennenswerter Weise beeinträchtigt, noch entsteht als Folge der Verstärkung weiterer Unterhaltungsaufwand (SCHNELLENBACH-HELD, 2010).

Folgende Nachteile des Verfahrens sind zu nennen:

- Bei diesem Verfahren ist eine genaue Kenntnis des bestehenden Bauteils hinsichtlich der Lage der Bewehrung unabdingbar. Da zwischen den Bewehrungsplänen und der tatsächlichen Situation im Bauteil Abweichungen auftreten können, ist zur Vermeidung von Erschwernissen bei der Ausführung der Verstärkung eine Feststellung der exakten Bewehrungslage mit geeigneten Verfahren, z.B. basierend auf Breitband-Impulsradar, Wirbelstrommessung, Ultra-

schallmessung, Induktionsmessung etc., im Vorfeld notwendig.

- Um die berechnete Verankerungslänge sicherzustellen, sind unter Umständen Auflagertaschen auszubilden, Bewehrungsstäbe mittels Injektionsmörtel zu verankern oder der Bewehrungsquerschnitt zu erhöhen.

Etwaige Beschädigungen oder Schwächungen der Bügelbewehrung sind durch zusätzliche Maßnahmen zu kompensieren.

2.5 Aufgeklebte CFK-Lamellen

2.5.1 Technik / Ausführung

Bei dieser Verstärkungstechnik werden zur Verstärkung CFK-Lamellen als zusätzliche Biegezugbewehrung mittels Klebstoff auf Epoxidharzbasis auf die gemäß abZ vorbereitete Bauteiloberfläche aufgebracht (Bilder 22 bis 24).

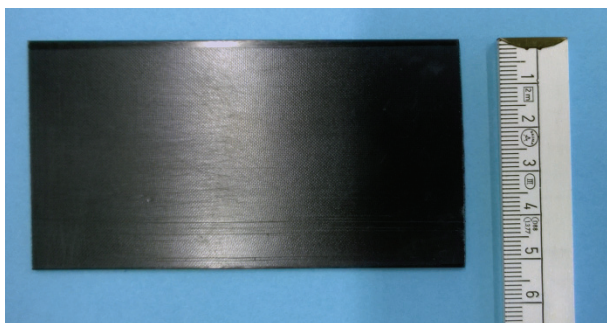


Bild 22: CFK-Lamelle üblicher Breite zum Aufkleben auf die Bauteiloberfläche

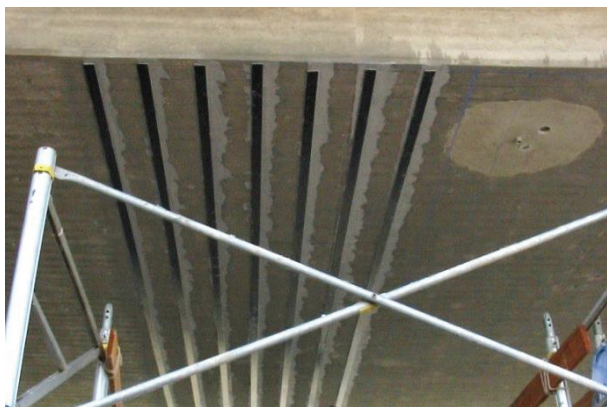


Bild 23: Aufkleben der CFK-Lamellen (Erfahrungssammlung Beispiel 5.1)



Bild 24: Untersicht nach der Verstärkung (Erfahrungssammlung Beispiel 5.2)

Bei den verwendeten CFK-Lamellen handelt es sich um einen werkmäßig hergestellten Verbundwerkstoff, der sich zu ca. 70 % aus hochfesten, unidirektional ausgerichteten Kohlenstofffasern und einer Epoxidharzmatrix zusammensetzt. Die Lamellen werden vornehmlich schlaff aufgeklebt, es ist jedoch auch möglich, vorgespannte CFK-Lamellen zu applizieren (siehe Kapitel 2.7.1).

2.5.2 Anwendungsbereiche

Aufgeklebte CFK-Lamellen eignen sich sowohl für die lokale als auch für die globale Verstärkung biegebeanspruchter Bauteile. Bei der globalen Verstärkung sind mögliche Einschränkungen in Hinblick auf die verfügbaren Lieferlängen zu beachten. Das Verstärken mit aufgeklebten CFK-Lamellen ist im Brückenbau für folgende Anwendungen geeignet:

- Nutzlastserhöhung bei gesteigerter Verkehrsbelastung durch Einsatz im Rahmen einer globalen Verstärkungsmaßnahme,
- Instandsetzung und Verstärkung in Bereichen von Koppelfugen,
- Biegeverstärkung von Brücken in Querrichtung,
- Instandsetzung von Schäden infolge Brandeinwirkung oder infolge Fahrzeuganpralls,
- Auswechslung der Bewehrung nachträglich hergestellter Öffnungen bei Hohlkastenquerschnitten.

Gemäß den zurzeit gültigen abZ ist die Verstärkung von Bauteilen mit aufgeklebten CFK-Lamellen zulässig, wenn

- es sich bei dem zu verstärkenden Bauteil um ein Stahlbetonbauteil handelt,

- das Bauteil nur auf Biegung – ohne zusätzliche Normalkraft – belastet ist,
- die Beanspruchung ausschließlich vorwiegend ruhend ist,
- die erforderliche Biegetragfähigkeit des verstärkten Bauteils an keiner Stelle größer ist als das Zweifache des unverstärkten Bauteils.

Damit ist nach dem gegenwärtigen Stand der abZ wegen der Einschränkung auf Bauteile mit vorwiegend ruhender Belastung und auf Stahlbetonbauteile ohne Normalkraftbeanspruchung eine Anwendung im Brückenbau nicht möglich. Mit einer bauaufsichtlichen Einführung der DAFStb-Richtlinie „Verstärken von Betonbauteilen mit geklebter Bewehrung“ (DAFSTB, 2012) wird diese Anwendungseinschränkung in Abhängigkeit von den zukünftig erteilten, richtlinienkonformen abZ entfallen.

2.5.3 Randbedingungen und Anwendungsgrenzen

Im Folgenden werden die Randbedingungen und Anwendungsgrenzen gemäß den zurzeit gültigen abZ und DAFSTB (2012) angeführt.

Betoneigenschaften

Die Betondruckfestigkeitsklasse des zu verstärkenden Betonbauteils muss nach abZ zwischen C12/15 und C45/55 liegen, mit Einführung von DAFSTB (2012) erfolgt eine Erweiterung des Anwendungsbereichs auf die Betonfestigkeitsklassen von C12/15 bis C50/60. Grundsätzlich ist die durchschnittliche Oberflächenzugfestigkeit $f_{ctm,surf}$ des Bauteils gemäß den Anforderungen der abZ des Produktherstellers einzuhalten. Nach DAFSTB (2012) wird gefordert, dass die bei der Bemessung angesetzten Werte für die Oberflächenzugfestigkeit vor der Durchführung der Verstärkung am Bauteil verifiziert werden. Die entsprechenden Verfahren sind in Teil 4 der Richtlinie (DAFSTB, 2012) geregelt. Außerdem beträgt die maximale durchschnittliche Haftzugfestigkeit, die bei der Bemessung angesetzt werden darf, nach Richtlinie 4 N/mm².

Bauteileigenschaften

Die vorhandene Betondeckung im Bereich der Klebeflächen muss gemäß abZ mindestens 10 mm betragen. Aufgeklebte CFK-Lamellen können nur zur Verstärkung von geraden oder konvex gekrümmten Bauteilen verwendet werden; bei konkaver Krümmung ist das Verfahren nicht anwendbar. Die maximale Unebenheit an der zu verstärkenden Seite darf 5 mm nicht überschreiten. Größere Ab-

weichungen bis zu 30 mm können mit bauaufsichtlich zugelassenen Instandsetzungsmörteln ausgeglichen werden. Vor dem Aufkleben der CFK-Lamellen ist bei der Vorbereitung der Klebeflächen der Grobzuschlag (> 8 mm) des Betons, etwa durch Strahlen mit festen Strahlmitteln, Kugelstrahlen, Druckwasserstrahlen, per Nadelpistole oder Stockgerät, freizulegen. Weiterhin muss die zu verklebende Betonoberfläche staubfrei, trocken und frei von losen Teilen sein. Die zulässige Restfeuchte der Betonrandzone ist den Zulassungen zu entnehmen.

Umgebungsbedingungen

Die CFK-Lamellen dürfen ohne zusätzliche Schutzvorkehrungen lediglich in Umgebungen entsprechend den Expositionsklassen XC1 (nur für trockene Umgebungsbedingungen) und XC3 eingesetzt werden. Außerdem dürfen sie dabei ohne einen geeigneten Schutzanstrich nur einer geringen UV-Strahlung ausgesetzt sein. Ferner darf das Bauteil im Bereich der Verstärkung keiner dauerhaften Durchfeuchtung ausgesetzt sein. Die zulässigen Bauteiltemperaturen während des Klebevorgangs richten sich nach der Verarbeitungsdauer des eingesetzten Klebstoffs – die Obergrenze der angegebenen Richtwerte unterschiedlicher Hersteller liegt bei 30 °C. Die zulässige relative Luftfeuchte während der Klebearbeiten beträgt 75 %. Im ausgehärteten Zustand darf die maximal zulässige Bauteiltemperatur, bedingt durch die geringe Glasübergangstemperatur des Klebstoffs auf Epoxidharz-Basis, längerfristig nicht über 40 °C liegen. Die exakten Grenzwerte können den entsprechenden abZ entnommen werden.

Ausführung

Hinsichtlich der Ausführung einer Verstärkung mit aufgeklebten CFK-Lamellen ist gemäß abZ bereits bei der Planung zu berücksichtigen, dass die Laschen an den zu verstärkenden Bauteilen während der Erhärtungsdauer des Klebstoffes zu fixieren sowie durch entsprechende Unterstützungsmaßnahmen vor Erschütterungen und Bewegungen zu schützen sind.

Die Belastung der verstärkten Konstruktion darf bei einer durchschnittlichen Bauwerkstemperatur von 20 °C erst zwei Tage nach Abschluss der Klebearbeiten erfolgen. Herrschen niedrigere Temperaturen zum Zeitpunkt der Durchführung, oder bestehen Unsicherheiten bezüglich der ordnungsgemäßen Aushärtung des Klebers, so sind die Erhärtungsnachweise gemäß Zulassung ausschlaggebend.

2.5.4 Bemessungsvorgaben, -regeln und Zulassungen

Die Bemessung der Verstärkung mit aufgeklebten CFK-Lamellen erfolgt auf Grundlage einer abZ. Einige Hersteller solcher zugelassenen Systeme bieten spezielle Berechnungssoftware für ihre Produkte an. Es sind beispielsweise Bemessungsprogramme für die Biegezug- und Querkraftverstärkung verfügbar.

Die Bemessung wird nach den abZ, die auf Grundlage von DIN 1045-1 erteilt wurden, sowie zukünftig nach den Vorgaben der Richtlinie „Verstärken von Betonbauteilen mit geklebter Bewehrung“ (DAFSTB, 2012), die auf DIN EN 1992-1-1 basiert, durchgeführt. Darüber hinaus sind Regelungen und Anweisungen der Obersten Straßenbaubehörden der Länder und des BMVI gegebenenfalls anzuwenden.

Gemäß älteren abZ war es in der Vergangenheit zulässig, ebenfalls Spannbetonbauteile oder auch Bauteile, die nicht vorwiegend ruhend beansprucht waren, durch aufgeklebte CFK-Lamellen zu verstärken. Die Einschränkung der Anwendung auf Stahlbetonbauteile unter vorwiegend ruhender Beanspruchung erfolgte im Jahr 2008 durch die entsprechenden Änderungsbescheide zu den bis dato gültigen Zulassungen. Allen seit diesem Zeitpunkt neu beantragten Zulassungen wurden die zuvor beschriebenen Einschränkungen auferlegt (SCHNELLENBACH-HELD, 2010).

2.5.5 Vor- und Nachteile

Folgende Vorteile zeichnen die Verstärkung mit aufgeklebten CFK-Lamellen aus:

- geringes Eigengewicht der Verstärkungselemente,
- verfügbare Lieferlängen von bis zu 200 Meter,
- beim Einbau ist eine Unterstützung des Verstärkungselements nicht erforderlich,
- kurze Einbauzeiten der Verstärkung,
- große Zugfestigkeit und Bruchdehnung der Lamellen,
- geringe Bauhöhe,
- Biegsamkeit,
- leichte Handhabbarkeit,
- Aufgrund der geringen Aufbauhöhe können Kreuzungen hergestellt werden.

Diesen Vorteilen stehen jedoch folgende Nachteile gegenüber:

- Die Materialkosten sind verhältnismäßig hoch.
- Die Lamellen dürfen nicht abgeknickt werden.
- Bei UV-Strahlung und in bewitterten Außenbereichen (Expositionsklasse XC4) sind stets entsprechende Schutzmaßnahmen erforderlich.
- Die Bauteiltemperatur darf nach der Verstärkung 40 °C nicht überschreiten.
- Für den Brandschutz der geklebten Lamellen sind Brandschutzsysteme auszuführen, die für die Verwendung als Brandschutzverkleidung bei Klebeverstärkungen allgemein bauaufsichtlich zugelassen sind.

2.6 In Schlitze eingeklebte CFK-Lamellen

2.6.1 Technik / Ausführung

Bei dieser Verstärkungsmethode werden senkrecht zur Bauteiloberfläche innerhalb der Betondeckung mittels mobiler Sägeeinrichtungen oder handgeführter Trennschleifer/Fugenschneider Schlitze eingeschnitten, in die die CFK-Lamellen mittels Epoxidharzkleber eingeklebt werden (Bilder 25 bis 29). Gegenüber den aufgeklebten Lamellen weist diese Einbauweise ein wesentlich verbessertes Verbundverhalten auf (MIHALA, 2008).



Bild 25: CFK-Lamelle üblicher Höhe zum Einkleben in Schlitze

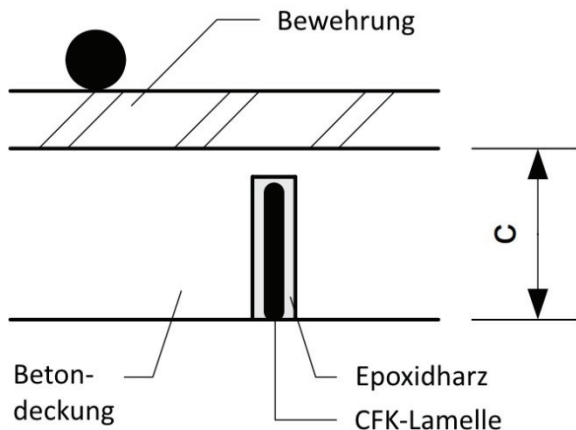


Bild 26: Anordnung der CFK-Lamelle innerhalb des Bauteils (nach MIHALA, 2008)



Bild 27: Maschinelle Herstellung der Schlitze (Erfahrungssammlung Beispiel 6.2)



Bild 28: Einbringen des Klebers (Erfahrungssammlung Beispiel 6.2)



Bild 29: Einkleben der Lamellen (Erfahrungssammlung Beispiel 6.2)

2.6.2 Anwendungsbereiche

Die schubfest in Schlitze eingeklebten CFK-Lamellen sind für die Erhöhung der Biegetragfähigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen geeignet, wobei den Lamellen planmäßig nur Zugkräfte zugewiesen werden dürfen. In Schlitze eingeklebte CFK-Lamellen dürfen gemäß abZ bei vorwiegend ruhend und nicht vorwiegend ruhend beanspruchten Bauteilen eingesetzt werden. Hierbei ist gemäß abZ zu beachten, dass für nicht vorwiegend ruhende Belastung eine innere Längszugbewehrung aus Betonstahl vorhanden sein muss.

Verglichen mit aufgeklebten CFK-Lamellen (Kap. 2.5) sind die möglichen Steigerungen der Tragfähigkeit des zu verstärkenden Bauteils größer. Dies ist auf die besseren Verbundeigenschaften zurückzuführen. In Bild 30 ist die Anwendung des Verfahrens an Balken- bzw. Plattenquerschnitten exemplarisch dargestellt.

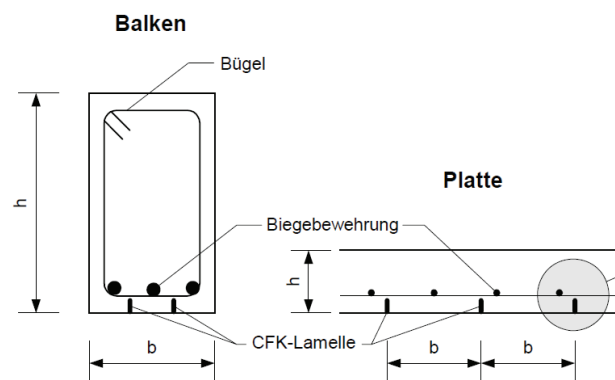


Bild 30: Eingeschlitzte CFK-Lamelle bei typischen Querschnitten (MIHALA, 2008)

2.6.3 Randbedingungen und Anwendungsgrenzen

Im Folgenden werden die Randbedingungen und Anwendungsgrenzen gemäß den zurzeit gültigen abZ und DAFSTB (2012) bezüglich der unterschiedlichen Bauteileigenschaften angeführt.

Betoneigenschaften

Der Beton des zu verstärkenden Bauteils muss gemäß abZ mindestens der Betondruckfestigkeitsklasse C20/25 entsprechen, maximal darf die Betonfestigkeitsklasse C45/55 angesetzt werden. In DAFSTB (2012) werden diese Anwendungsgrenzen auf den Bereich C12/15 bis C50/60 erweitert.

Bauteilbeschaffenheit

Ein Ausgleich von Unebenheiten ist bei der Verstärkung mit in Schlitze eingeklebten CFK-Lamellen nicht erforderlich, da sich diese über das Anpassen der Schnitttiefe ausgleichen lassen. Die vorhandene Betondeckung im Bereich der einzuschneidenden Schlitze muss gemäß abZ mindestens 10 mm betragen und muss so groß sein, dass Schäden an Bügeln oder der Querbewehrung durch die Herstellung der Schlitze vermieden werden. Die Schlittiefe ist so wählen, dass eine vollständige Einbettung der Lamelle unter Berücksichtigung des Ausgleichs von Unebenheiten gewährleistet ist.

Umgebungsbedingungen

Die Anforderungen an die Umgebungsbedingungen des zu verstärkenden Bauteils entsprechen den in Abs. 2.5.3 beschriebenen Bedingungen für aufgeklebte CFK-Lamellen.

2.6.4 Bemessungsvorgaben, -regeln und Zulassungen

Die Bemessung der Verstärkung mit in Schlitze eingeklebten CFK-Lamellen wird nach den abZ, die auf Grundlage von DIN 1045-1 erteilt wurden, sowie zukünftig nach den Vorgaben der Richtlinie „Verstärken von Betonbauteilen mit geklebter Bewehrung“ (DAFSTB, 2012), die auf DIN EN 1992-1-1 basiert, durchgeführt. Darüber hinaus sind Regelungen und Anweisungen der Obersten Straßenbaubehörden der Länder und des BMVI gegebenenfalls anzuwenden.

2.6.5 Vor- und Nachteile

Die Vorteile von eingeschlitzten CFK-Lamellen gegenüber aufgeklebten CFK-Lamellen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Herstellung der für den Einbau der Lamellen erforderlichen Schlitze ist häufig kostengünstiger als das bei aufgeklebten CFK-Lamellen unter Umständen erforderliche Ausgleichen und Aufräumen der Betonoberfläche (MIHALA, 2008).
- Der zulässige Verstärkungsgrad bei Biegung ist gemäß abZ nicht auf 2,0 beschränkt.
- Die eingeschlitzte Lamelle ist weitestgehend gegen mechanische Beschädigung geschützt und zeigt zudem ein günstigeres Verhalten im Brandfall.
- Durch die gute Verbundtragwirkung lässt sich die hohe Zugfestigkeit der Lamellen effizienter ausnutzen, wodurch zur Erzielung des gleichen Verstärkungseffektes ein kleinerer Lamellenquerschnitt ausreichend ist.
- Unebenheiten der Betonoberfläche sind mittels entsprechender Schnitttiefe einfacher zu korrigieren.
- Das verstärkte Bauteil zeigt ein duktileres Verhalten (MIHALA, 2008).

Dem stehen folgende Nachteile gegenüber:

- Die Betondeckung der vorhandenen Bewehrung muss so groß sein, dass diese bei der Herstellung der Schlitze nicht beschädigt wird.
- Kreuzungen und zweiachsige Bewehrungslagen sind wegen der erforderlichen Betondeckung nahezu unmöglich.

Des Weiteren gelten die in Abs. 2.5.5 genannten Nachteile.

2.7 Sonderlösungen

2.7.1 Vorgespannte CFK-Lamellen

2.7.1.1 Technik / Ausführung

Die Verstärkung mit vorgespannten CFK-Lamellen stellt die konsequente Weiterentwicklung der Verstärkung mit schlaff aufgeklebten CFK-Lamellen dar, wobei durch die Vorspannung eine wesentlich bessere Ausnutzung der hohen Zugfestigkeit des Lamellenwerkstoffes erzielt werden kann. Die Vorspannkraft wird bei diesem Verfahren wäh-

rend des Spannvorgangs über herstellerspezifische Endverankerungskonstruktionen, im Endzustand durch den flächigen Klebeverbund, in das Bauteil eingeleitet. Ein Ausführungsbeispiel für die Anwendung dieses Verfahrens ist in Bild 31 dargestellt.



Bild 31: Verankerungselemente des Vorspannsystems SLC II, (PETERS, 2013)

2.7.1.2 Anwendungsbereiche

Ein Anwendungsbereich von vorgespannten CFK-Lamellen bildet die lokale Verstärkung im Bereich der Koppelfugen von Spannbetonbrücken. Darüber hinaus ist bei Biegebauteilen eine globale Verstärkung sowohl in Hinblick auf die Tragfähigkeit als auch auf die Gebrauchstauglichkeit möglich (siehe auch Kap. 2.5.2).

2.7.1.3 Randbedingungen und Anwendungsgrenzen

Grundvoraussetzung für die Anwendbarkeit dieser Verstärkungsmethode bei Stahl- und Spannbetonbrücken ist das Vorliegen einer ausreichenden Betonqualität des Bauwerks. Diese Bedingung ist erfüllt, solange die Karbonatisierungsfront noch innerhalb der Betondeckung liegt und der Beton ein hinreichend dichtes, ungerissenes Gefüge aufweist (SCHNELLENBACH-HELD, 2010).

Analog zu den schlaff aufgeklebten Lamellen ist es erforderlich, vorgespannte Lamellen vor mechanischen Einwirkungen, erhöhter Temperaturbeanspruchung durch Sonnenstrahlung oder Brandeinwirkung sowie vor UV-Strahlung zu schützen. Im Übrigen gelten die Hinweise des Kapitels 2.5.3.

2.7.1.4 Bemessungsvorgaben, -regeln und Zulassungen

Eine abZ liegt bislang für keines der bekannten Systeme vor, daher erfordert die Verstärkung von Stahlbetonbauteilen mit vorgespannten CFK-Lamellen bis dato stets eine ZiE. In der Vergangenheit wurde diese bei mehreren Verstärkungsmaßnahmen erteilt.

2.7.1.5 Vor- und Nachteile

Gegenüber der Verstärkung mit schlaff aufgeklebten Lamellen weist die Methode mit Vorspannung der Lamellen wesentliche Vorteile auf. Hierzu zählen:

- Bessere Ausnutzung der Zugfestigkeit der CFK-Lamellen,
- Reduzierung von Durchbiegung und maximalen Rissbreiten.

Den Vorteilen stehen folgende Nachteile gegenüber:

- Gefahr des vorzeitigen Versagens während des Vorspannens,
- aufwändige Verankerung der vorgespannten CFK-Lamellen wegen der materialtypischen Querdruckempfindlichkeit,
- kein zugelassenes System am Markt erhältlich, daher ist stets eine ZiE erforderlich.

2.7.2 Aufgeklebte Stahllaschen

2.7.2.1 Technik / Ausführung

Die Verstärkung von Bauteilen durch aufgeklebte Stahllaschen folgt dem Grundgedanken des in Kapitel 2.5 beschriebenen Verfahrens (aufgeklebte CFK-Lamellen), wobei jedoch Stahllaschen anstelle der CFK-Lamellen eingesetzt werden (Bild 32).



Bild 32: Aufgeklebte Stahllaschen in einem Brückenhohlkasten

2.7.2.2 Anwendungsbereiche

Die Anwendungsbereiche für das Verstärken mit aufgeklebten Stahllaschen im Brückenbau entsprechen den in Abs. 2.5.2 genannten Anwendungsfällen für die Verstärkung mit aufgeklebten CFK-Lamellen.

2.7.2.3 Randbedingungen und Anwendungsgrenzen

Im Folgenden werden die Randbedingungen und Anwendungsgrenzen gemäß den zurzeit gültigen abZ und DAFSTB (2012) bezüglich der unterschiedlichen Bauteileigenschaften angeführt.

Betoneigenschaften

Die Betondruckfestigkeitsklasse des zu verstärkenden Betonbauteils muss nach abZ zwischen C12/15 und C45/55 liegen, mit Einführung von DAFSTB (2012) erfolgt eine Erweiterung des Anwendungsbereichs auf Betonfestigkeitsklassen bis C50/60. Die rechnerische Oberflächensugfestigkeit $f_{ctm,suf}$ des Bauteils muss gemäß abZ $\geq 1,5 \text{ N/mm}^2$ sein, wobei mehr als $3,0 \text{ N/mm}^2$ bei der Bemessung nicht angesetzt werden dürfen. Weitere grundsätzliche Forderungen entsprechen den in Kapitel 2.5.3 aufgeführten Punkten.

Bauteileigenschaften

Die Anforderungen an die Bauteileigenschaften entsprechen den Bedingungen in Kap. 2.5.3

Umgebungsbedingungen

Für die Verstärkung dürfen Stahllaschen der Stahlgüte S235 J2G3 bzw. S235 JR verwendet werden. Im ausgehärteten Zustand darf die maxi-

mal zulässige Bauteiltemperatur, bedingt durch die geringe Glasübergangstemperatur des Klebstoffs auf Epoxidharz-Basis, längerfristig nicht über 34 °C liegen. Die exakten Grenzwerte können den entsprechenden abZ entnommen werden. Weitere Anforderungen sind Kap. 2.5.3 zu entnehmen.

Ausführung

Die Randbedingungen sind in Kap. 2.5.3 aufgeführt.

2.7.2.4 Bemessungsvorgaben, -regeln und Zulassungen

Die Bemessung der Verstärkung mittels aufgeklebter Stahllaschen wird nach den abZ, die auf Grundlage von DIN 1045-1 erteilt wurden, sowie zukünftig nach den Vorgaben der Richtlinie „Verstärken von Betonbauteilen mit geklebter Bewehrung“ (DAFSTB, 2012), die auf DIN EN 1992-1-1 basiert, durchgeführt. Darüber hinaus sind Regelungen und Anweisungen der Obersten Straßenbaubehörden der Länder und des BMVI gegebenenfalls anzuwenden.

Im Übrigen gelten die in Abs. 2.5.4 genannten Bemessungsvorgaben und -regeln.

2.7.2.5 Vor- und Nachteile

Erfolgreiche Anwendungen dieser Verstärkungstechnik für die Ertüchtigung im Bereich von geschädigten Koppelfugen oder auch bei der feldweisen Biegeverstärkung an Brückenüberbauten zeigen die Vorteile des Verfahrens:

- Das Eigengewicht der Konstruktion erhöht sich durch die Stahllaschen nicht nennenswert.
- Das Verfahren lässt sich in der Regel beim Kleben im Inneren von Hohlkästen sehr wirtschaftlich anwenden.

Dem steht eine Vielzahl systembedingter Nachteile gegenüber:

- Stahllaschen sind insbesondere beim Einsatz im Freien aufgrund der Umwelteinflüsse korrosionsanfällig.
- Generell ist eine Verankerung im ungerissenen Bereich gefordert, woraus unter Umständen große Laschenlängen resultieren.
- An den Enden der Laschen werden teilweise Ablöseerscheinungen beobachtet, die durch eine entsprechende Verdübelung unterbunden werden müssen.

- Die erforderliche Abstützung und Fixierung der Laschen während der gesamten Aushärtungsdauer des Klebers ist mit einem beträchtlichen Aufwand verbunden.
- Die Bauteiltemperatur darf nach der Verstärkung 34 °C nicht überschreiten.
- Für den Brandschutz der geklebten Stahllaschen sind Brandschutzsysteme auszuführen, die für die Verwendung als Brandschutzverkleidung bei Klebeverstärkungen allgemein bauaufsichtlich zugelassen sind.
- Wegen der in den gegenwärtigen abZ vorgenommenen Einschränkung auf Stahlbetonbauteile unter vorwiegend ruhender Beanspruchung ist das Verfahren für den Einsatz bei Brückenbauwerken zurzeit nur mit ZiE möglich.

2.7.3 Querschnittsergänzungen durch Spritzbeton mit zusätzlicher Betonstahlbewehrung

2.7.3.1 Technik und Ausführung

Der Spritzbetonauftrag ist die älteste Methode der Querschnittsergänzung. Aufgrund der Erkenntnisse aus über 100 Jahren Anwendung gibt es mittlerweile eine hervorragende Erfahrungssammlung. Im Folgenden werden die einzelnen Arbeitsschritte zur Herstellung einer Querschnittsergänzung durch Spritzbeton mit zusätzlicher Betonstahlbewehrung vorgestellt.

Oberflächenvorbehandlung

Entscheidend für die Leistungsfähigkeit der Verstärkungsmethode mittels Querschnittsergänzungen mit zusätzlicher Betonstahlbewehrung ist der Verbund zwischen altem und neuem Beton, der neben einer sorgfältigen Vorbehandlung des Altbetons (Rauigkeit) durch die Anordnung einer Verbundbewehrung gesteigert werden kann. Eine durch Hochdruckwasserstrahlen vorbereitete Oberfläche mit freigelegter Bewehrung zeigt Bild 33.



Bild 33: Durch Hochdruckwasserstrahlen vorbereitete Oberfläche (HANKERS, 2008)

In der „Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen“ (DAFSTB, 2001) des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton wird ein Mindestwert für die Oberflächenzugfestigkeit von 1,5 N/mm², festgelegt. Die Wahl der Spritzbetonzusammensetzung sollte hinsichtlich Festigkeit und Verformungsverhalten dem Altbeton angepasst werden (HANKERS, 2008). Vor dem Auftrag des Spritzbetons ist Staub zu entfernen und der Betonuntergrund mattfeucht vorzunässen, damit dem Spritzbeton das für die Hydratation erforderliche Wasser nicht entzogen wird (HANKERS, 2008).

Vorbereitung der Bewehrung und Spritzbetonauftrag

Durch den Einbau von einfachen Dübeln, Bolzen oder Haken zur temporären Lagesicherung wird die Bewehrung fixiert, sodass sie beim Spritzvorgang ihre Lage nicht ändert und durch das Anspritzen nicht in Schwingungen gerät. Der Verbund zwischen Alt- und Neubeton wird mittels vorhandener Bewehrung, zusätzlich eingebauten Bügeln oder Verbundankern gesichert. Wird eine Querkraftbewehrung ergänzt, ist diese in der Regel in der Druckzone zu verankern, um die volle Fachwerktragwirkung zwischen Zug- und Druckgurt herzustellen. Verschiedene Möglichkeiten der Verankerung bei der Querkraftverstärkung sind in Bild 34 dargestellt (SEIM, 2007).

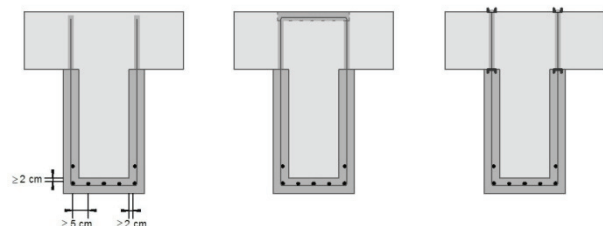


Bild 34: Plattenbalken mit zusätzlichen Bügeln (eingeklebt / geschlossen / mit Stahlprofilen verankert) (SEIM, 2007)

Der Spritzbeton sollte möglichst rechtwinklig aus einem Abstand zwischen 0,50 und 1,50 m auf den Altbeton in Kreisbewegungen in einer oder mehreren Lagen aufgebracht werden (SEIM, 2007). Wenn kein Beschleuniger verwendet wird, beträgt die maximale Schichtdicke einer Spritzbetonlage 5 bis 8 cm. Nach ZTV-ING (2013) beträgt die minimale Schichtdicke für Bauteile mit nicht vorwiegend ruhender Belastung, wie beispielsweise Brückenüberbauten, 5 cm. Gleichzeitig ist bei Auftragsdicken über 5 cm eine konstruktive Schwindbewehrung vorzusehen (SEIM, 2007). Zur Sicherstellung einer einwandfreien Ummantelung der Bewehrung durch den mit hohem Druck aufprallenden Spritzbeton sind Mindestabstände gleichlaufender Bewehrungsstäbe untereinander von 5 cm und zum Betonuntergrund von 2 cm einzuhalten (SEIM, 2007; DIN EN 14487, 2007).

Nachbehandlung

Die Oberfläche des Spritzbetons sollte möglichst nicht abgezogen werden, sondern spritzrau verbleiben, um Gefügestörungen durch Abreiben oder Glätten zu vermeiden (SEIM, 2007; HANKERS, 2008). Wird eine glatte Oberfläche gewünscht, kann in einem weiteren Arbeitsgang eine zusätzliche Feinmörtelschicht aufgetragen werden. Eine ausreichende Nachbehandlung der Spritzbetonschicht ist zwingend erforderlich, um das Ablösen der vergleichsweise dünnen Frischbetonspritzschicht und eine ausgeprägte Schwindrissbildung zu verhindern. Zusätzlich zur Nachbehandlung lassen sich starke Verbundstörungen und das Ablösen der Spritzbetonschicht durch eine Begrenzung der Erschütterungen des Bauwerks in der Erhärtungsphase vorbeugen.

2.7.3.2 Anwendungsbereiche

Durch Querschnittsergänzungen mit Spritzbeton können in Abhängigkeit von der zugelegten Bewehrung sowohl die Biege- als auch die Querkrafttragfähigkeit erhöht oder lokale Fehlstellen beseitigt werden. Das Verfahren wird überwiegend für die lokale Verstärkung eingesetzt, kann aber auch für eine globale Verstärkung geeignet sein (SCHNELLENBACH-HELD, 2010).

2.7.3.3 Randbedingungen und Anwendungsgrenzen

Aufgrund der variablen Formgebung hat das Verfahren der Querschnittsergänzung nur geringe Anforderungen an das bestehende Bauteil. Durch die Verwendung von Spritzbeton entfallen umständliche Schalungsmaßnahmen. Allerdings ist die An-

wendung von Spritzbeton nach ZTV-ING (2013) auf waagerechten oder schwach geneigten Flächen, wie beispielsweise Fahrbahnplatten von Brücken, aufgrund des Rückpralls nicht zulässig. Üblicherweise ist nur eine lokale Anwendung wirtschaftlich, da das Eigengewicht der Konstruktion durch die zusätzliche Betonschicht maßgeblich erhöht wird.

2.7.3.4 Bemessungsvorgaben, -regeln und Zulassungen

Für einen als monolithisch zu betrachtenden Gesamtquerschnitt werden die Nachweise nach DIN EN 1992-2 geführt. Darüber hinaus sind Regelungen und Anweisungen der Obersten Straßenbaubehörden der Länder und des BMVI gegebenenfalls anzuwenden. Die Ausführung der Spritzbetonverstärkung erfolgt nach DIN EN 14487 (2007) in Verbindung mit dem Nationalen Anwendungsdokument DIN 18551 (2014). Ergänzende Regelungen enthält ZTV-ING Teil 3 Abschnitt 4. Bei der Ermittlung der für die Bemessung relevanten Einwirkungen ist das zusätzliche Eigengewicht der Spritzbetonschicht zu berücksichtigen.

2.7.3.5 Vor- und Nachteile

Die Vorteile des Verfahrens lassen sich im Wesentlichen wie folgt zusammenfassen:

Hoher Erfahrungsschatz

Da Spritzbeton mittlerweile seit über 100 Jahren angewendet wird, sind ein reicher Erfahrungsschatz sowie zahlreiche Anwendungen im Hoch- und Ingenieurbau bekannt.

Variable Formgebung

Das Verfahren der Spritzbetonverstärkung erlaubt eine sehr variable Formgebung sowie eine Anwendung bei beliebig geformten Bauteilen, da keine Schalung benötigt wird.

Geringe Kosten

Die Kosten des Verfahrens der Spritzbetonverstärkung mit zusätzlicher Betonstahlbewehrung sind gering bis moderat, da gängige und bewährte Materialien wie Bewehrungsstahl und Spritzbeton verwendet werden. Durch die Verwendung genormter Baustoffe sind zudem keine zusätzlichen abZ und ZiE erforderlich.

Vielfältigkeit der Anwendungsgebiete

In Abhängigkeit der zugelegten Bewehrung sind unterschiedliche Anwendungsbereiche möglich. So können die Biege- und Querkrafttragfähigkeit gesteigert oder lokale Fehlstellen beseitigt werden. Bei lokaler Anwendung ist eine deutliche Erhöhung der Tragfähigkeit durch den Einbau zusätzlicher Bewehrung möglich.

Schutz vor Vandalismus oder Brand

Aufwendige Schutzmaßnahmen vor äußeren Einwirkungen wie Brand oder Vandalismus können entfallen, da die Bewehrung geschützt in der Spritzbetonschicht verbaut ist.

Ästhetik

Da die Betonstahlbewehrung in einer zusätzlichen Spritzbetonschicht untergebracht wird, ändert sich das äußere Erscheinungsbild der Brücke kaum. Es ist lediglich im Falle einer Biegeverstärkung die verminderte Durchfahrthöhe zu beachten.

Den zahlreichen Vorteilen steht ein entscheidender Nachteil gegenüber:

Geringer Verstärkungsgrad

Durch die deutliche Erhöhung des Eigengewichts infolge der zusätzlichen Spritzbetonschicht ist die Effizienz dieses Verfahrens begrenzt. Daher ist das Verfahren in der Regel für globale Anwendungen im Brückenbau nicht wirtschaftlich einsetzbar.

2.7.4 Querschnittsergänzungen mit Beton und zusätzlicher Betonstahlbewehrung

2.7.4.1 Technik und Ausführung

Neben der Querschnittsergänzung mit Spritzbeton kommen auch Querschnittsergänzungen mit zusätzlicher Betonstahlbewehrung zur Ausführung, bei denen der nachträglich ergänzte Querschnitt konventionell geschalt wird. Ähnlich wie bei dem in Kapitel 2.7.3.1 beschriebenen Vorgehen zur Vorbereitung der Oberfläche bei einer Spritzbetoner-gänzung muss auch für eine Querschnittsergänzung mit Beton die Oberfläche zur Erzielung eines guten Verbundes zwischen Alt- und Neubeton vorbehandelt werden. Wird eine Verbundbewehrung angeordnet, ist vor Herstellung der Bohrungen für die Verbundanker die vorhandene Bewehrung zu orten, um eine Beschädigung ausschließen zu können. Bezüglich der konstruktiven Durchbildung und der Nachbehandlung der Querschnittsergänzung gelten die gleichen Regeln wie für Neubau-

ten. Ein Beispiel für eine Querschnittsergänzung in Form eines anbetonierten Stahlbetonbalkens in den unteren Ecken eines Hohlkastenquerschnittes zeigen die Bilder 35 und 36.

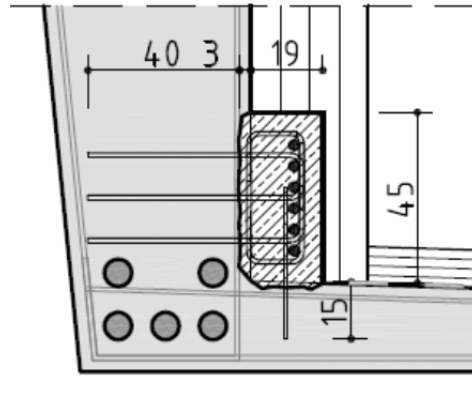


Bild 35: Beispiel für eine Querschnittsergänzung in Form eines anbetonierten Stahlbetonbalkens: Detail Querschnitt (Erfahrungssammlung Beispiel 7.4)



Bild 36: Beispiel für eine Querschnittsergänzung in Form eines anbetonierten Stahlbetonbalkens: Ausführung (vorbehandelte Oberfläche, Schalung und Bewehrung, Erfahrungssammlung Beispiel 7.4)

2.7.4.2 Anwendungsbereiche

Der Hauptanwendungsbereich einer Querschnittsergänzung in Form eines anbetonierten Stahlbetonbalkens in den Ecken eines Hohlkastenquerschnittes, wie in den Bildern 35 und 36 gezeigt, ist die Verbesserung des Ankündungsverhaltens bezüglich Spannungsrissskorrosion. Brücken mit Spannstahl, der besonders gefährdet ist für Spannungsrissskorrosion (z.B. nach der „Handlungsanweisung Spannungsrissskorrosion“, BMVBS, 2011) bergen das Risiko eines plötzlichen und verformungsarmen Bruches der beanspruchten Stähle. Zur Beurteilung und Minimierung dieses Risikos und zur Vermeidung des spröden Bruchs sind daher ein rechnerischer Nachweis und gegebenen-

falls Verstärkungsmaßnahmen notwendig. Nach BMVBS (2011) ist eine ausreichende Vorankündigung gegeben, wenn beim Spanngliedausfall unter Anrechnung der Traganteile aus der Restspannstahlfläche und der im Querschnitt vorhandenen Betonstahlbewehrung im Nachweis der Restsicherheit ein erforderliches Sicherheitsniveau nicht unterschritten wird. Dies kann durch die Vergrößerung der Biegezugbewehrung im Rahmen einer Querschnittsergänzung (z.B. Bild 35) erreicht werden.

Andere Anwendungsgebiete, wie beispielsweise eine Erhöhung der Biegetragfähigkeit, sind ebenfalls denkbar.

2.7.4.3 Randbedingungen und Anwendungsgrenzen

Wie die Spritzbetonergänzung hat das Verfahren der Querschnittsergänzung mit Beton aufgrund der variablen Formgebung nur geringe Anforderungen an das bestehende Bauteil. Üblicherweise ist nur eine lokale Anwendung (z.B. in einzelnen, kritischen Feldern) wirtschaftlich, da das Eigengewicht der Konstruktion durch die Querschnittsergänzung maßgeblich erhöht wird.

2.7.4.4 Bemessungsvorgaben, -regeln und Zulassungen

Die Nachweise werden für einen als monolithisch zu betrachtenden Gesamtquerschnitt nach DIN EN 1992-2 geführt. Bei der Ermittlung der für die Bemessung relevanten Einwirkungen ist das zusätzliche Eigengewicht der Querschnittsergänzung zu berücksichtigen.

2.7.4.5 Vor- und Nachteile

Die Vorteile des Verfahrens sind vergleichbar mit den Vorteilen der Spritzbetonverstärkung und lassen sich im Wesentlichen wie folgt zusammenfassen:

Variable Formgebung

Durch die freie Gestaltbarkeit der Schalung erlaubt das Verfahren der Querschnittsergänzung eine variable Formgebung.

Geringe Kosten

Die Kosten des Verfahrens der Querschnittsergänzung mit Beton und zusätzlicher Betonstahlbewehrung sind gering bis moderat, da gängige und bewährte Materialien verwendet werden. Durch die Verwendung genormter Baustoffe sind zudem kei-

ne zusätzlichen abZ und ZiE erforderlich. Für die nachträglich hergestellten Bewehrungsanschlüsse sind Systeme mit einer abZ zu verwenden.

Geringe Nutzungseinschränkungen

Da keine Arbeiten an der Fahrbahnplatte erforderlich sind, ist eine Verstärkung bei laufendem Betrieb möglich.

Schutz vor Vandalismus oder Brand

Aufwendige Schutzmaßnahmen vor äußeren Einwirkungen wie Brand oder Vandalismus können entfallen, da die Bewehrung geschützt in der Querschnittsergänzung verbaut ist.

Den Vorteilen steht ein Nachteil gegenüber:

Geringer Verstärkungsgrad

Durch die deutliche Erhöhung des Eigengewichts infolge der Querschnittsergänzung mit Beton ist die Effizienz dieses Verfahrens begrenzt. Daher beschränkt sich der Anwendungsbereich dieses Verfahrens auf lokale Anwendungen, wie z.B. die oben beschriebene Verbesserung des Ankündungsverhaltens bezüglich Spannungsrisskorrosion. Für globale Anwendungen im Brückenbau ist das Verfahren in der Regel nicht wirtschaftlich einsetzbar.

2.7.5 Verstärkung mit Stahlkonstruktionen

2.7.5.1 Technik und Ausführung

Bei einer Verstärkung mit Stahlkonstruktionen wird der vorhandene Brückenüberbau durch Konstruktionen des klassischen Stahlbaus ergänzt. Diese müssen anwendungsbezogen individuell geplant und ausgeführt werden.

2.7.5.2 Anwendungsbereiche

Da eine Verstärkung mit Stahlkonstruktionen immer eine Individuelle Lösung darstellt, kann sie sehr vielfältig eingesetzt werden.

Ist beispielsweise eine Änderung des statischen Systems des Bestandsüberbaus nötig, können Stahl-Hilfsstützen zum Einsatz kommen. Auch die Anordnung von Stahlträgern (z.B. Fachwerkträger, Bild 37) unterhalb des Brückenüberbaus zur Tragfähigkeitserhöhung ist möglich. Diese werden auf den Stützen und Fundamenten aufgelagert. Über Elastomerplatten können die Stahlträger mit dem Brückenüberbau verbunden werden. Mittels Pressen wird diese Stahlkonstruktion an den Widerlagern angehoben. Hierdurch wird eine genau defi-

nierte Kraft in den Überbau eingeleitet. Zur Änderung des statischen Systems, z.B. zur Reduzierung der vorhandenen Stützweiten, können zusätzliche Stahlstützen eingebaut werden.

Als Sofortmaßnahme können bei gravierenden Defiziten in der Querkrafttragfähigkeit Hilfsstützen aus Stahl angeordnet werden (SCHNELLENBACH-HELD, 2010).



Bild 37: Fachwerkssystem unter einem Brückenfeld

2.7.5.3 Randbedingungen und Anwendungsgrenzen

Bei der Planung der Verstärkungsmaßnahme ist zu beachten, dass der Verstärkungseffekt aufgrund unterschiedlicher Steifigkeiten (Überbau: steif, Verstärkungsträger: weich) begrenzt ist.

2.7.5.4 Bemessungsvorgaben, -regeln und Zulassungen

Die Regelungen nach DIN EN 1992 und DIN EN 1993 sind zu beachten. Darüber hinaus sind Regelungen und Anweisungen der Obersten Straßenbaubehörden der Länder und des BMVI gegebenenfalls anzuwenden.

2.7.5.5 Vor- und Nachteile

Die Vorteile der Verstärkung mit Stahlkonstruktionen lassen sich im Wesentlichen wie folgt zusammenfassen:

- Eine Erhöhung bzw. Wiederherstellung der Tragfähigkeit kann üblicherweise sehr zeitnah erfolgen. Die Verstärkungstechnik ist daher auch zur Notinstandsetzung geeignet.
- Die Verstärkung kann sehr individuell, zugeschnitten auf die besonderen Randbedingungen des zu verstärkenden Bauwerks, durchgeführt werden.

- Eine Änderung des statischen Systems ist möglich.
- Durchbiegungen und maximale Rissbreiten können reduziert werden.

Den Vorteilen stehen folgende Nachteile gegenüber:

- Der Verstärkungseffekt ist durch die unterschiedlichen Biegesteifigkeiten möglicherweise begrenzt.
- Das Eigengewicht der Konstruktion erhöht sich.
- Die Stahlkonstruktion muss regelmäßig geprüft werden. Je nach Anwendungsfall ist es erforderlich, die in den Bestandsüberbau eingeleitete Kraft durch den Einsatz von Hydraulikpressen anzupassen.

3 Erfahrungssammlung Brückenverstärkungen

3.0 Allgemeines

Im Folgenden werden die von den Straßenbauverwaltungen und Ingenieurbüros anhand von Fragebögen zu repräsentativen Anwendungsfällen zur Verfügung gestellten Erfahrungen vorgestellt und systematisch ausgewertet. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die vorliegende Auswertung einer Stichprobenuntersuchung im Wesentlichen Tendenzen aufzeigen kann. Insbesondere aufgrund des geringen Umfangs der Anwendungsfälle zu den meisten Verstärkungstechniken ist hier eine abgesicherte Auswertung nicht möglich. Einen Überblick über die Anzahl und Verteilung der ausgewerteten Verstärkungsmaßnahmen zeigt Bild 38.

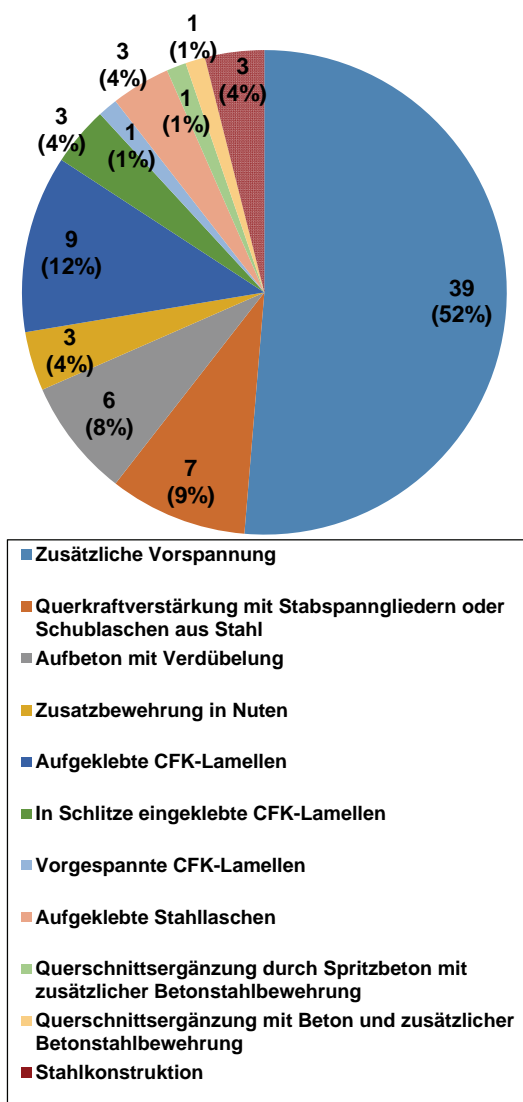


Bild 38: Übersicht über die Anzahl und Verteilung der ausgewerteten Anwendungsfälle

Bei den Verstärkungsmaßnahmen wird zwischen der Instandsetzung (Beibehaltung der Brückenklasse, z. B. Koppelfugeninstandsetzung) und der Ertüchtigung (Erhöhung der Brückenklasse) unterschieden. Eine Bewertung des Verstärkungsbedarfs anhand der Zustandsnoten erscheint nicht sinnvoll und wird daher hier nicht durchgeführt, da neben den Kriterien der Standsicherheit und Dauerhaftigkeit auch die Verkehrssicherheit betrachtet wird. Die Bewertung des Verstärkungsbedarfs erfolgt aktuell auf Basis der Nachrechnungsrichtlinie (BMVBS, 2011) bzw. vor deren Einführung auf Basis von Nachrechnungen und Bauwerksprüfungen.

Für eine abschließende Bewertung der Wirtschaftlichkeit einzelner Verstärkungstechniken müssten Brücken mit gleichen Schadensbildern, aber unterschiedlichen Verstärkungsmaßnahmen verglichen werden. Da das Schadensausmaß (z.B. Rissbreiten, Risshäufigkeit etc.) in den meisten Fällen aus den vorliegenden Informationen nicht abgeleitet werden kann und es zudem teilweise nur wenige geeignete Verstärkungstechniken zur Beseitigung bestimmter Defizite gibt, ist ein direkter Vergleich unterschiedlicher Verstärkungstechniken untereinander schwierig. Darüber hinaus finden neben der "Verstärkung" meistens auch weitere Maßnahmen statt, die der Instandsetzung zugeordnet werden. In allen Fällen muss eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nach RI-WI-BRÜ (BMVBS, 2007) erfolgen.

Hilfreich im Zusammenhang mit der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit wären sicherlich auch Kostenkalkulationen zu einem möglichen Neubau der jeweiligen Brücke. Somit könnte unter Berücksichtigung der Restnutzungsdauer bewertet werden, ob eine Verstärkung oder ein Neubau langfristig die wirtschaftlichere Lösung darstellt. Da diese Informationen in der Regel nicht vorliegen, werden im Folgenden Kriterien bezüglich der Wirtschaftlichkeit betrachtet, die sich aus den vorhandenen Informationen ableiten lassen. Nach BMVBS (2007) sind für eine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung nicht allein die Kosten der Verstärkung, sondern vielmehr auch alle Folgekosten (z.B. Unterhaltungskosten) zu berücksichtigen. Da Angaben zu den Folgekosten nicht vorliegen, werden mit den Verstärkungskosten sowie der Dauer der Verstärkungsmaßnahmen der vorliegenden Verstärkungsbeispiele zwei Kriterien einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung betrachtet, ohne dass eine abschließende Bewertung möglich ist. Bei der Bewertung der Wirtschaftlichkeit werden zur Ermittlung des Prozentsatzes der Verstärkungskosten in Bezug auf die ursprünglichen Baukosten die Baupreisindizes vom statistischen Bundesamt nach Tab. 1 (2010 $\hat{=}$ 100 %) benutzt (DESTATIS, 2014).

Tab. 1: Baupreisindizes Ingenieurbau, Bauarbeiten, Brücken im Straßenbau, Betonarbeiten (einschließlich Umsatzsteuer, DESTATIS, 2014)

Jahr	Baupreis-index	Jahr	Baupreis-index	Jahr	Baupreis-index
1958	19,8	1977	47,8	1996	87,0
1959	20,8	1978	51,2	1997	85,7
1960	22,3	1979	56,3	1998	84,9
1961	23,5	1980	62,1	1999	84,4
1962	25,1	1981	64,6	2000	84,5
1963	26,3	1982	65,1	2001	83,6
1964	27,2	1983	65,4	2002	82,9
1965	27,7	1984	66,2	2003	82,2
1966	28,4	1985	65,9	2004	85,1
1967	27,2	1986	67,2	2005	86,1
1968	28,1	1987	68,0	2006	88,0
1969	30,8	1988	69,1	2007	93,7
1970	37,3	1989	71,5	2008	99,4
1971	40,2	1990	75,8	2009	99,1
1972	41,9	1991	80,1	2010	100,0
1973	44,3	1992	83,8	2011	103,0
1974	45,9	1993	86,4	2012	105,1
1975	44,9	1994	87,6	2013	106,2
1976	46,1	1995	88,4		

spricht fünf Brücken) ausgebildet ist. Hierbei handelt es sich bei einer Brücke um einen kombinierten Plattenbalken- / Hohlkastenquerschnitt, der im Folgenden den Plattenbalkenbrücken zugeordnet wird.

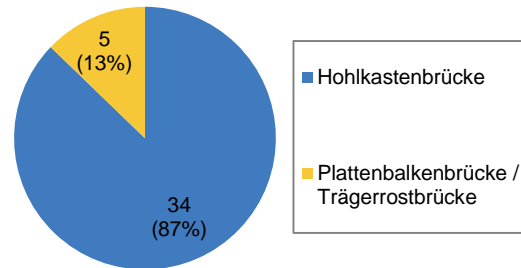


Bild 39: Überbauarten (Zusätzliche Vorspannung)

Brückenlänge und mittlere Stützweite

In den Bildern 40 und 41 ist die Verteilung der vorliegenden Brücken in Abhängigkeit von der Brückenlänge sowie der mittleren Stützweite dargestellt. Der Anteil an Großbrücken mit einer Brückenlänge von mehr als 100 m beträgt etwa 95 % (entspricht 37 Brücken, Bild 40). Auffallend ist der große Anteil von Brücken mit einer Brückenlänge zwischen 200 und 400 m und mittleren Stützweiten von 30 bis 50 m, die einen Anteil von jeweils rund 70 % aller Brücken darstellen.

3.1 Zusätzliche Vorspannung

3.1.1 Bestandsaufnahme: Beispiele Brückenverstärkungen

Zur Verstärkung mittels zusätzlicher Vorspannung liegen Fragebögen von 39 Brücken mit insgesamt 68 Teilbauwerken vor. Dabei sind allerdings nicht alle Fragebögen vollständig ausgefüllt. Darüber hinaus wurden bei elf Brücken neben der zusätzlichen Vorspannung weitere Maßnahmen durchgeführt (Schubnadeln, CFK-Lamellen), sodass für diese Brücken jeweils nur die Kombination der jeweiligen Verstärkungsmaßnahmen bewertet werden kann.

Um einen Überblick über die zur Verfügung gestellten Anwendungsfälle zu erhalten, werden diese nachfolgend bezüglich ihrer Überbauart, der Brückenlänge, der mittleren Stützweite sowie des Baujahres klassifiziert.

Überbauart

Nach den vorliegenden Fragebögen kann zwischen zwei Überbauarten unterschieden werden (Bild 39). Der größte Teil der Brücken sind mit 87 % (entspricht 34 Brücken) Hohlkastenbrücken, während ein deutlich geringerer Anteil als Plattenbalkenbrücke bzw. Trägerrostbrücke (13 %, ent-

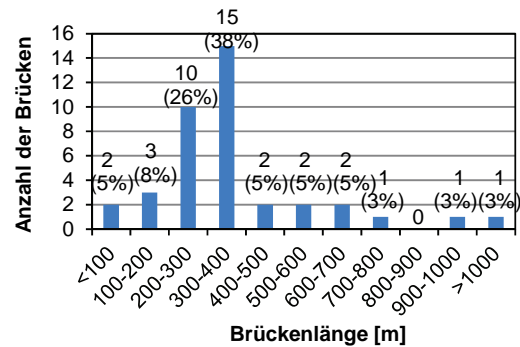


Bild 40: Brückenlänge (Zusätzliche Vorspannung)

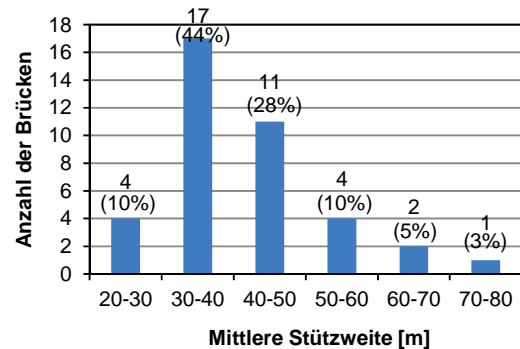


Bild 41: Mittlere Stützweiten (Zusätzliche Vorspannung)

Baujahr

Die Auswertung der Baujahre zeigt, dass der überwiegende Anteil der Brücken Ende der 1960er bis Anfang 1970er Jahre gebaut wurde, sodass die meisten Brücken bereits ein Alter von rund 40 bis 50 Jahren aufweisen (Bild 42). Dies ist auf den in der Nachkriegszeit notwendig gewordenen Wiederaufbau sowie den gleichzeitigen wirtschaftlichen Aufschwung zurückzuführen. Dies verdeutlicht aber auch, dass eine Vielzahl der zu verstärkenden Brücken in Deutschland aufgrund ihres Alters verstärkt werden muss.

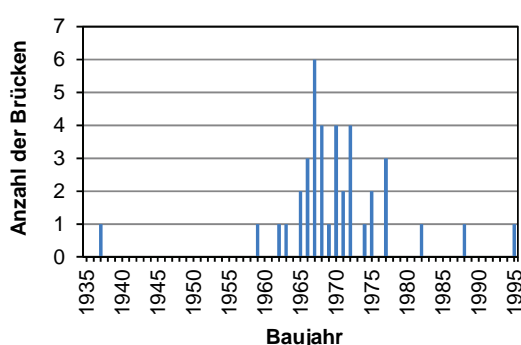


Bild 42: Baujahre (Zusätzliche Vorspannung)

Auf Grundlage der Fragebögen sowie der zugehörigen Bauwerksbücher werden in den folgenden Kapiteln die Beispiele der Brückenverstärkungen anhand verschiedener Kriterien (Gründe für die Verstärkung, Ausführungsdetails, Nutzungseinschränkungen, Leistungsfähigkeit, Wirtschaftlichkeit, etc.) ausgewertet.

3.1.2 Gründe für die Verstärkungsmaßnahme

Die Gründe, die für die Durchführung der Verstärkungsmaßnahmen genannt wurden, lassen Rückschlüsse auf typische Anwendungsgebiete der Verstärkungstechnik zu. Zu allen 39 Brücken liegen Informationen über die Ursache der Verstärkung vor. Einen Überblick gibt Bild 43. Bei 64 % der Brücken (entspricht 25 Brücken) sind Mängel im Bereich der Koppelfugen (Risse und/oder Ermüdungsbruchgefahr der Koppelanker, etc.) die Hauptursache der Verstärkung, sodass als Hauptanwendungsgebiet der Verstärkung mittels zusätzlicher Vorspannung erwartungsgemäß Mängel im Bereich der Koppelfugen identifiziert werden können. Ein deutlich geringerer Anteil der Brücken weist Tragfähigkeitsdefizite (18 %, entspricht sieben Brücken) oder sonstige Überbauschäden (13 %, entspricht fünf Brücken) auf, die durch die zusätzliche Vorspannung behoben werden sollen. Hierbei wiesen zwei Brücken eine Kombination aus Mängeln im Bereich von Koppelfugen und einem

Tragfähigkeitsdefizit bzw. sonstigen Überbauschäden auf. Weiterhin führte bei zwei Brücken eine Nutzungsänderung (Bau zusätzlicher Fahrspuren) und bei jeweils einer Brücke Defizite in der Nachweisführung (Dekompression und Schwingbreite) bzw. ein Brandschaden zur Verstärkung.

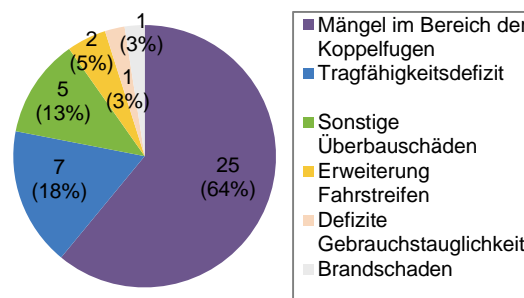


Bild 43: Gründe für die Verstärkung (Zusätzliche Vorspannung)

Detaillierte Aufschlüsselungen der Mängel im Bereich der Koppelfugen, der Tragfähigkeitsdefizite und der Überbauschäden zeigen Bilder 44 bis 46, wobei bei einigen Brücken mehrere Mängel, Defizite bzw. Schäden gleichzeitig vorlagen. Bei den Mängeln im Bereich der Koppelfugen wurden bei 17 von 25 Brücken (entspricht 68 %) Dauerfestigkeitsprobleme der Koppelfugen angegeben, welche bei acht Brücken als Ermüdungsbruchgefahr der Koppelanker spezifiziert wurden. Bei 60 % der Brücken mit Mängeln im Bereich der Koppelfugen (entspricht 15 Brücken) wurden Risse im Bereich der Koppelfugen festgestellt. Bei jeweils einer Brücke wurde die Dauerhaftigkeit im Bereich der Koppelfugen als Verstärkungsursache genannt bzw. die Mängel im Bereich der Koppelfugen wurden nicht näher spezifiziert (Bild 44).

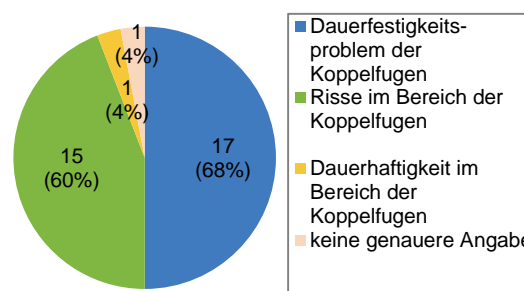


Bild 44: Mängel im Bereich der Koppelfugen (Zusätzliche Vorspannung)

Die Tragfähigkeitsdefizite wurden nur bei jeweils einer Brücke als eine Unterbemessung der Quertträger-Aufhängebewehrung bzw. als unzureichende Querkrafttragfähigkeit näher spezifiziert. Bei den anderen fünf Brücken wurde pauschal eine Traglasthöhung als Grund für die Verstärkungsmaßnahme genannt (Bild 45).

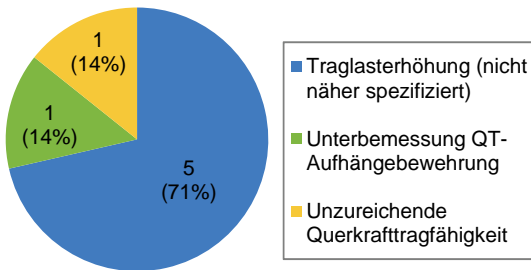


Bild 45: Tragfähigkeitsdefizite (Zusätzliche Vorspannung)

Bei den fünf Brücken mit Überbauschäden liegt eine Vielzahl unterschiedlicher Schadensbilder vor, wie Rissbildungen und Betonabplatzungen, freiliegende Bewehrung, große Überbauverformungen oder Schäden an Spanngliedern (unverpresste Spanngliedhüllrohre, Schadstellen an Spanngliedern, Korrosion, Bild 46).

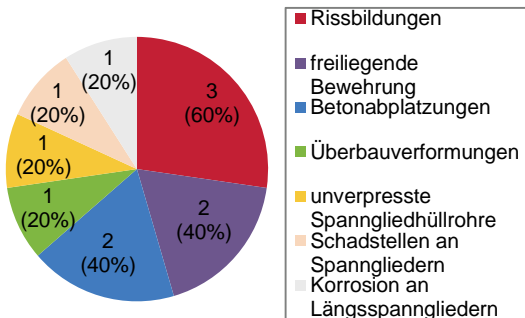


Bild 46: Überbauschäden (Zusätzliche Vorspannung)

3.1.3 Ausführungsdetails

Im Folgenden werden die verwendeten Spannglieder, das Spannverfahren, die Spanngliedführung und die Verankerungssysteme näher untersucht. Dies dient der Darstellung der in der Praxis üblicherweise eingesetzten Verfahren und Konstruktionen bei der Verwendung zusätzlicher Spannglieder.

Spannglieder und Spannverfahren

Bei 35 Brücken liegen Angaben zu den verwendeten Spanngliedern vor. So kamen nur zwei verschiedene Festigkeitsklassen zum Einsatz, wobei bei ca. der Hälfte der Brücken (54 %, 19 Brücken) Spannstahl St 1470 / 1670 verbaut wurde, während in 46 % der Fälle (16 Brücken) Spannstahl der Güte St 1570/1770 zum Einsatz kam (Bild 47).

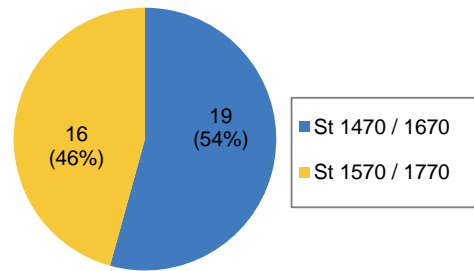


Bild 47: Festigkeitsklassen (Zusätzliche Vorspannung)

Bezüglich der Spanngliedtypen und dem zugehörigen Spannverfahren liegen zu 38 Brücken Informationen vor. Demnach kann zwischen Drahtspanngliedern (Drahtspannverfahren) und Litzen-spanngliedern (Litzen-spannverfahren) unterschieden werden (Bild 48). Mit 55 % (entspricht 21 Brücken) ist bei etwas mehr als der Hälfte der Brücken das Drahtspannverfahren verwendet worden. Die einzelnen Drahtspannglieder bestehen dabei in den vorliegenden Anwendungsfällen aus 30 bis 66 Drähten. Von den 17 mit Hilfe des Litzen-spannverfahrens nachträglich zusätzlich vorgespannten Brücken wurden bei 15 Brücken siebendrähtige Litzen ohne Verbund verwendet, eine Brücke wurde mittels 22-drähtigen Litzen mit nachträglichem Verbund in einem Ergänzungsbalken verstärkt und bei einer Brücke war die Litzenanzahl nicht gegeben.

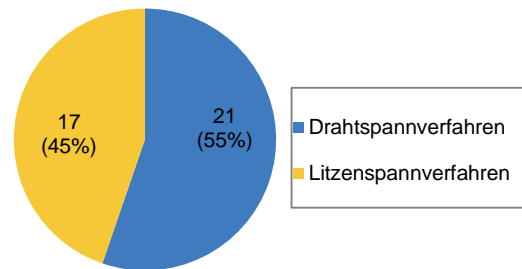


Bild 48: Spannverfahren (Zusätzliche Vorspannung)

Spanngliedführung

Grundsätzlich wird bei zusätzlichen externen Spanngliedern zwischen der geraden und polygonalen Spanngliedführung unterschieden. Zur Spanngliedführung liegen zu 37 der 39 Anwendungsfälle Informationen anhand des Fragebogens oder des Bauwerksbuches vor (Bild 49). Bei den vorhandenen Anwendungsfällen wurden die Spannglieder überwiegend (76 %, 28 Brücken) gerade verlegt, wobei in 26 Fällen eine zentrische und bei zwei Brücken eine exzentrische Anordnung gewählt wurde. Bei neun Brücken (24 %) liegt ein polygonaler Spanngliedverlauf bzw. bei einer Brücke ein bereichsweise polygonaler und bereichsweise parabelförmiger Spanngliedverlauf

in einer Querschnittsergänzung vor. Ein Zusammenhang zwischen dem Auftreten eines bestimmten Schadensbildes bzw. einem bestimmten Grund für die Verstärkung und der Wahl der Spanngliedführung kann hierbei nicht festgestellt werden.

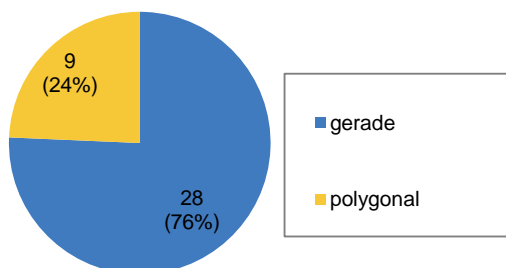


Bild 49: Spanngliedführung (Zusätzliche Vorspannung)

Verankerung der Spannglieder

Neben der Spanngliedführung ist auch die Wahl geeigneter Verankerungskonstruktionen entscheidend für den Erfolg der Verstärkung. Hierzu liegen für die vorhandenen Anwendungsfälle Informationen zu 32 der 39 Brücken vor (Bild 50). In 81 % der Fälle (26 Brücken) wurden zusätzliche Verankerungskonstruktionen (Lisenen, Lasteinleitungsblocke etc.) oder eine Verstärkung der vorhandenen Endquerträger notwendig. Hierbei wurden bei 19 Brücken (59 %) zusätzliche Verankerungskonstruktionen eingebaut, bei vier Brücken (12 %) wurden die vorhandenen Querträger verstärkt und bei drei Brücken (9 %) war eine Kombination aus Verstärkung der vorhandenen und Bau neuer Verankerungskonstruktionen erforderlich. Dagegen konnten nur in 16 % der Fälle (fünf Brücken) die vorhandenen Endquerträger ohne zusätzliche Verstärkung verwendet werden. Bei einer Brücke wurde die zusätzliche Vorspannung in einen zusätzlichen Erganzungsbalken im Inneren des Hohlkastenquerschnittes eingebunden.

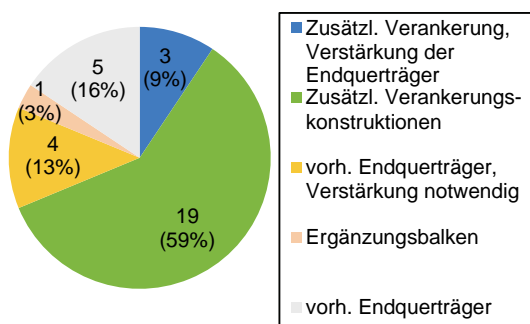


Bild 50: Verankerung der Spannglieder – Übersicht (Zusätzliche Vorspannung)

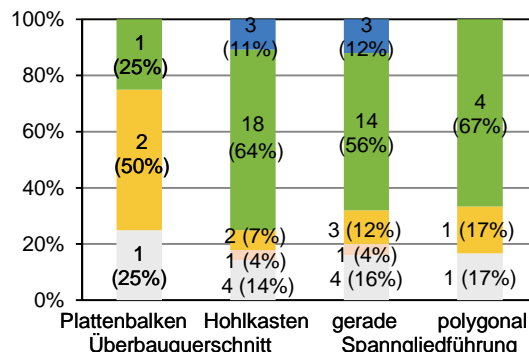


Bild 51: Verankerung der Spannglieder in Abhängigkeit des Überbauquerschnittes und der Spanngliedführung, Legende siehe Bild 50 (Zusätzliche Vorspannung)

Weiterhin wird untersucht, ob eine Abhängigkeit der Verankerungskonstruktion vom Überbauquerschnitt oder von der Spanngliedführung vorliegt (Bild 51). Von den insgesamt fünf Brücken mit Plattenbalkenquerschnitt ist zu vier Brücken und von den insgesamt 34 Brücken mit Hohlkastenquerschnitt ist zu 28 Brücken die Art der Verankerung bekannt. Während bei Hohlkastenbrücken mit 64 % (18 Brücken) die zusätzlichen Verankerungskonstruktionen überwiegen, konnten bei 75 % der Plattenbalkenbrücken (drei Brücken) die Spannglieder am Querträger (teilweise nach vorheriger Verstärkung) verankert werden. Demnach konnten vorhandene Tragwerkelemente bei Plattenbalkenbrücken prozentual häufiger zur Verankerung der zusätzlichen Vorspannung genutzt werden als bei Hohlkastenbrücken.

Von den insgesamt 28 Brücken mit gerader und neun Brücken mit polygonaler Spanngliedführung ist die Art der Verankerung bei jeweils drei Brücken nicht bekannt, sodass diese bei 25 Brücken mit gerader und sechs Brücken mit polygonaler Spanngliedführung ausgewertet werden kann (Bild 51). Unabhängig von der Spanngliedführung waren bei den meisten Brücken (56 %, 14 Brücken mit gerader Spanngliedführung bzw. 67 %, vier Brücken mit polygonaler Spanngliedführung) zusätzliche Verankerungskonstruktionen notwendig. Ebenso war in jeweils ca. 16 % der Fälle die Verankerung in den vorhandenen Endquerträgern ohne zusätzliche Verstärkungsmaßnahmen möglich. Somit kann eine Abhängigkeit der Verankerung von der Spanngliedführung nicht festgestellt werden.

3.1.4 Nutzungseinschränkungen

Die Auswirkungen des Verfahrens auf den laufenden Betrieb und die Wirksamkeit der Verstärkung können durch die Auswertung der Nutzungseinschränkungen zu verschiedenen Zeitpunkten untersucht werden. Hierzu werden die Nutzungsein-

schränkungen vor, während und nach der Verstärkungsmaßnahme ausgewertet. Allerdings fehlen in einigen Fragebögen Angaben zu evtl. vorhandenen Nutzungseinschränkungen. Tab. 2 gibt einen Überblick über die vorliegende Datengrundlage.

Tab. 2: Datengrundlage Nutzungseinschränkungen (Zusätzliche Vorspannung)

Zeitpunkt der Nutzungseinschränkungen	Anzahl Angaben	Anz. keine Angaben	Σ
Vor der Verstärkungsmaßnahme	19	20	39
Während der Verstärkungsmaßnahme	33	6	39
Nach Fertigstellung der Verstärkungsmaßnahme	36	3	39

Ein Überblick über den Anteil der Brücken mit und ohne Nutzungseinschränkungen vor, während und nach Durchführung der Verstärkungsmaßnahme ist in Bild 52 dargestellt. Insgesamt wurden während der Verstärkungsmaßnahme bei gut der Hälfte der betrachteten Brücken (54 %, 21 Brücken) Nutzungseinschränkungen erforderlich. Da bei acht der 21 Brücken mit Nutzungseinschränkungen während der Verstärkungsmaßnahme neben der zusätzlichen Vorspannung noch weitere Verstärkungstechniken zur Anwendung kamen, ist nicht klar ersichtlich, auf welche Verstärkungsanwendung die Nutzungseinschränkungen zurückzuführen sind. Zudem geht aus den Fragebögen nicht eindeutig hervor, ob die Nutzungseinschränkungen für die Anbringung der zusätzlichen Spannglieder oder für begleitende Maßnahmen, wie Erneuerungen des Fahrbahnbelags, notwendig waren. Bei einer Brücke sind die Nutzungseinschränkungen infolge des Schadens schon während der Verstärkungsmaßnahme aufgehoben worden, wobei dies evtl. auf Unklarheiten bei der Beantwortung des Fragebogens zurückzuführen ist. 90 % der Brücken (35 Brücken) sind nach der Verstärkungsmaßnahme einschränkungsfrei nutzbar, während es vor der Maßnahme nur 28 % der Brücken (11 Brücken) waren.

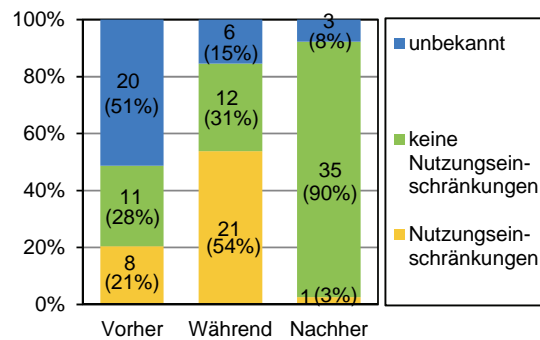


Bild 52: Nutzungseinschränkungen (Zusätzliche Vorspannung)

In Tab. 3 sind die jeweiligen Nutzungseinschränkungen vor, während und nach der Verstärkung aufgelistet. In fünf von acht Fällen, bei denen Nutzungseinschränkungen vor der Verstärkung notwendig waren, und in neun von 21 Fällen, bei denen Nutzungseinschränkungen während der Verstärkungsmaßnahme notwendig waren, war mehr als eine Nutzungseinschränkung gleichzeitig erforderlich. Die am häufigsten vorkommenden Nutzungseinschränkungen vor und während der Verstärkung sind Geschwindigkeitsbegrenzungen, Überholverbote für Lkw und Einengungen der Fahrbahnbreiten. In den meisten Fällen wurden die Nutzungseinschränkungen, die infolge eines Schadens aufgetreten sind, auch während der Durchführung der Maßnahme aufrechterhalten. Teilweise wurden neben den durch Schäden notwendig gewordenen Nutzungseinschränkungen zusätzliche Einschränkungen erforderlich. So wurden beispielsweise zusätzlich Sperrungen von Fahrstreifen und Gewichtsbegrenzungen während der Durchführung der Maßnahme notwendig. Nach Beendigung der Verstärkungsmaßnahme werden nur bei (mindestens) 3 % der Brücken (einer Brücke) Nutzungseinschränkungen erforderlich (Bild 52 und Tab. 3). Die bei dieser Brücke infolge des Schadens erforderliche Rückstufung der Brückenklasse musste auch nach Beendigung der Maßnahme beibehalten werden. Bei den restlichen Brücken konnten alle Nutzungseinschränkungen, die sich infolge eines Schadens oder während Durchführung der Maßnahme ergeben haben, behoben werden.

Tab. 3: Nutzungseinschränkungen vor, während und nach der Verstärkung (Zusätzliche Vorspannung)

Nutzungseinschränkung	Anzahl der betroffenen Brücken zu den Zeitpunkten [...] bezogen auf die Verstärkung		
	vor	während	nach
Geschwindigkeitsbegrenzung	5	5	0
Überholverbot für Lkw	4	5	0
Einengung Fahrbahnbreiten	3	6	0
Rückstufung Brückenklasse	2	2	1
Geänderte Verkehrsführung	1	4	0
Mindestabstand Kfz > 2,8 t	1	0	0
Umleitung Schwerlastverkehr	0	1	0
Sperrung von Fahrstreifen	0	4	0
Gewichtsbegrenzung	0	2	0

3.1.5 Veränderung der Brückenklassen

Ein weiteres Kriterium zur Beurteilung der Wirksamkeit der Verstärkung sind die Brückenklassen vor und nach der Verstärkung. Es liegen Informationen zu 35 der 39 Brücken vor, bei denen die Brückenklasse sowohl vor als auch nach der Verstärkungsmaßnahme dem Fragebogen bzw. Bauwerksbuch entnommen werden kann. Bei den anderen Anwendungsfällen wurden diese Angaben nicht gemacht.

Die Auswirkungen der Verstärkungsmaßnahme auf die Brückenklasse, d.h. die Anzahl der Brücken, bei denen sich die Brückenklasse erhöht bzw. bei denen die Brückenklasse nach Beendigung der Verstärkungsmaßnahme gleich geblieben ist, sind in Bild 53 dargestellt. Bei 69 % der Brücken (24 Brücken) konnte die Brückenklasse durch die Verstärkung gesteigert werden, während bei den restlichen 31 % (elf Brücken) die Brückenklasse gleich geblieben ist.

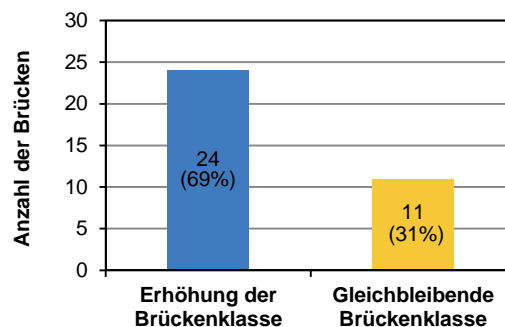


Bild 53: Auswirkung der Verstärkungsmaßnahme auf die Brückenklasse (Zusätzliche Vorspannung)

Die in Bild 42 (Kapitel 3.1.1) dargestellte Verteilung der Brückenbaujahre zeigt, dass der Großteil der Brücken in den 1960er und 1970er Jahren gebaut wurde. Durch die in diesem Zeitraum gültige Norm DIN 1072 (1952, 1967) und die damit gültigen Lastmodelle (BK 60, BK 30) ist vor der Verstärkung mit 77 % (entspricht 27 Brücken) der größte Anteil der Brücken in die Brückenklasse 60 (BK 60) eingestuft (Bild 54). Mit 14 % (fünf Brücken) ist ein weitaus geringerer Anteil der Brückenklasse 60/30 (BK 60/30) zugeordnet.

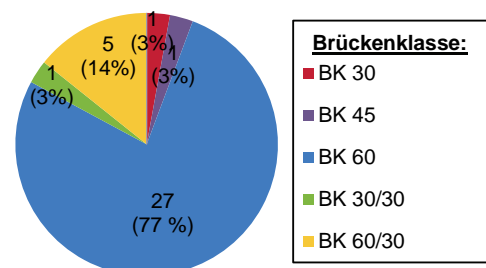


Bild 54: Brückenklassen vor der Verstärkung (Zusätzliche Vorspannung)

Nach der Verstärkungsmaßnahme konnten alle Brücken mit Brückenklassen kleiner oder gleich der Brückenklasse 45 (BK 45) in eine höhere Brückenklasse eingestuft werden (Bild 55). Mit 54 % (19 Brücken) wird der größte Anteil der Brücken nach der Verstärkung der BK 60/30 zugeordnet, gefolgt von etwa 26 % der Brücken (neun Brücken), die in BK 60 eingestuft sind (Bild 55). Sechs Brücken (17 %) erfüllen nach der Verstärkung sogar die Anforderungen des LM 1 nach DIN-Fachbericht 101 (DIN FB 101), wobei bei zwei Brücken die Verstärkungsmaßnahmen zwar ohne Berücksichtigung einer Erhöhung der Brückenklasse konzipiert wurden, eine spätere Nachrechnung nach Nachrechnungsrichtlinie unter Berücksichtigung der durchgeführten Verstärkung aber eine Einordnung in die Nachweisklasse B für ein Zielastniveau des LM 1 ermöglicht.

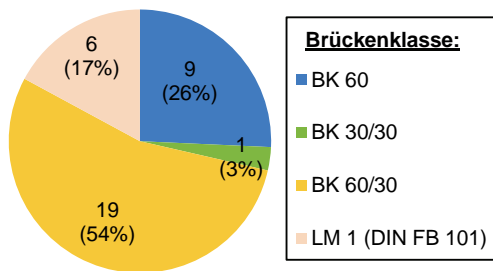


Bild 55: Brückenklassen nach der Verstärkung (Zusätzliche Vorspannung)

Die vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) entwickelte „Strategie zur Ertüchtigung der Straßenbrücken im Bestand der Bundesfernstraßen“ (BMVBS, 2013) sieht vor allem Handlungsbedarf bei allen Straßenbrücken der BK 60 und geringer. Waren vor der Verstärkungsmaßnahme noch 83 % der Brücken (29 Brücken) in die BK 60 oder geringer eingestuft waren, sind nach der Fertigstellung der Verstärkungen nur noch 26 % der Brücken (neun Brücken) in BK 60 eingestuft (Bilder 54 und 55). Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass es nicht unbedingt immer das Ziel war, mit der „Verstärkung“, die teilweise im Zuge einer Instandsetzung betrieben wurde, eine Erhöhung der Brückenklasse zu erreichen.

3.1.6 Wirtschaftlichkeit

Mit den Kosten und der Dauer der vorliegenden Anwendungsfälle werden nachfolgend zwei Kriterien einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung betrachtet, ohne dass eine abschließende Bewertung möglich ist.

Kosten

Zu 21 Brücken liegen Angaben zu den Kosten der Verstärkungsmaßnahme vor. Bei den übrigen Fragebögen liegen entweder keine eindeutigen Angaben zu den Kosten vor oder die Kosten können bei der gleichzeitigen Anwendung von mehreren verschiedenen Verstärkungstechniken nicht den einzelnen Verstärkungstechniken zugeordnet werden, sodass diese nicht für die nachfolgende Auswertung herangezogen werden. Die Verteilung der Kosten der Verstärkungsmaßnahme bezogen auf die jeweilige Brückenfläche ist in Bild 56 dargestellt. Bei dem überwiegenden Anteil der Brücken (81 %, 17 Brücken) sind die Kosten kleiner als 100 €/m².

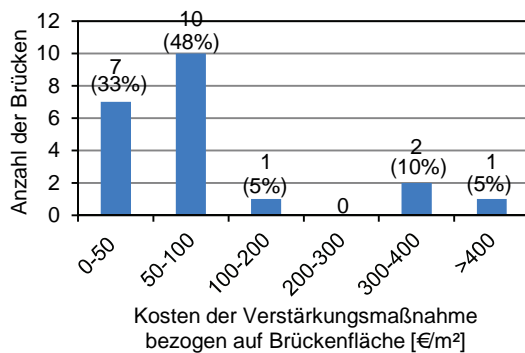


Bild 56: Kosten der Verstärkungsmaßnahme bezogen auf Brückenfläche (Zusätzliche Vorspannung)

Nach HAVERESCH (2011) sind die Kosten der Verstärkungsmaßnahme für die Verstärkung mittels extern, zentrisch geführter Spannglieder für Brücken mit Kastenquerschnitt von 50 bis 100 €/m² moderat. Somit kann die Mehrzahl der Verstärkungsmaßnahmen nach diesem Kriterium als wirtschaftlich bezeichnet werden. Ein deutlich geringerer Anteil (15 %, drei Brücken) verursacht Kosten in Höhe von 300 bis 500 €/m² (Bild 56).

Bei nur 16 Brücken liegen gleichzeitig die Kosten der Verstärkungsmaßnahme und die ursprünglichen Baukosten der Brücke vor, sodass diese unter Berücksichtigung der Baupreisindizes nach Tab. 1 in Relation gesetzt werden können (Bild 57). Bei 81 % der betrachteten Brücken (13 Brücken) betragen die Kosten der Verstärkungsmaßnahme unter Berücksichtigung der Preisentwicklung und Inflation weniger als 10 % der ursprünglichen Brückenbaukosten. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die Verstärkungsmaßnahme im Vergleich zu einem Neubau kurzfristig in jedem Fall die kostengünstigere Alternative darstellt. Um einen direkten Kostenvergleich und den langfristigen Nutzen der beiden Varianten Neubau und Instandsetzung abschätzen zu können, müsste allerdings die Restnutzungsdauer mit einbezogen werden.

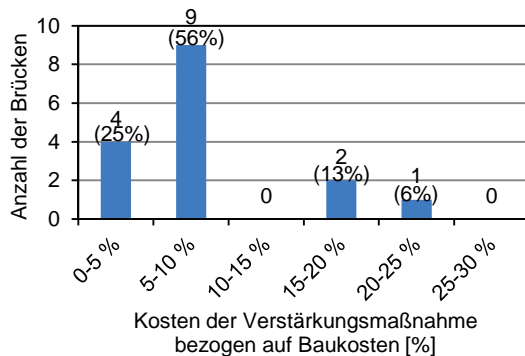


Bild 57: Kosten der Verstärkungsmaßnahme bezogen auf Baukosten unter Berücksichtigung der Baupreisindizes nach Tab. 1 (Zusätzliche Vorspannung)

In Tab. 4 sind die durchschnittlichen Kosten der Verstärkung und die Bandbreite der Kosten in Abhängigkeit der gewählten Spanngliedführung und des Überbauquerschnitts aufgelistet. Um die Kostenentwicklung und die Inflation in Abhängigkeit des Verstärkungszeitpunktes bei der Auswertung zu berücksichtigen, wurden die Werte zusätzlich mit den Baupreisindizes nach Tab. 1 auf einen fiktiven Verstärkungszeitpunkt im Jahr 2010 normiert (Angabe in Klammern). Zudem ist jeweils die Datengrundlage, d.h. die Anzahl der zugrundeliegenden Brücken angegeben.

Die durchschnittlichen Kosten bei polygonaler Spanngliedführung sind bei den vorliegenden Anwendungsfällen ca. doppelt so hoch wie bei gerader Spanngliedführung, was eventuell auf die zusätzlich erforderlichen Umlenkstrukturen zurückgeführt werden kann (Tab. 4).

Tab. 4: Kosten der Verstärkungsmaßnahme in Abhängigkeit der Spanngliedführung und dem Überbauquerschnitt (Zusätzliche Vorspannung)

	Spanngliedführung		Überbauquerschnitt	
	Gerade	Polygonal	Hohlkästen	Plattenbalken
Durchschnittliche Kosten ¹ [€/m ²]	107 (135)	220 (228)	78 (89)	238 (305)
Bandbreite der Kosten ¹ [€/m ²]	30 – 466 (36-708)	65 – 376 (77-380)	15 – 310 (16-352)	37-466 (45-708)
Anzahl der Brücken	15	2	17	4

¹Werte in Klammern: Werte mit Baupreisindizes nach Tab. 1 auf einen fiktiven Verstärkungszeitpunkt im Jahr 2010 normiert

Die Kosten der Verstärkungsmaßnahme in Abhängigkeit des Überbauquerschnittes zeigen, dass bei Plattenbalken im Vergleich zu Hohlkästen tendenziell höhere Kosten entstehen. Die durchschnittlichen Kosten der Verstärkung eines Plattenbalkens mittels zusätzlicher Vorspannung sind etwa dreimal so hoch wie bei Hohlkästen. Zudem zeigt auch die Bandbreite der Kosten, dass sowohl die jeweils günstigsten als auch die kostenintensivsten Beispiele bei den Plattenbalken größere Kosten als bei den Hohlkästen verursachen. Diese Kostenunterschiede sind nach HAVERESCH (2011) vor allem auf den bei Plattenbalkenbrücken häufig größeren Bedarf an Baubehelfen und aufwändigeren Anker- und Umlenkstrukturen zurückzuführen. Allerdings ist auch hier die Datengrundlage für die Verstärkung einer Plattenbalkenbrücke mit nur vier Brücken sehr gering (Tab. 4).

Dauer

Der Einfluss von Nutzungseinschränkungen während der Durchführung einer Verstärkungsmaßnahme auf deren Wirtschaftlichkeit hängt u.a. von der Dauer der Verstärkungsarbeiten ab, die bei 35 Anwendungsfällen angegeben ist. Da bei acht dieser Brücken zusätzlich zur Vorspannung weitere Verstärkungstechniken zur Anwendung kamen, reduziert sich die Datengrundlage auf 27 Brücken. In Bild 58 ist die Verteilung der Verstärkungsdauer aller Anwendungsfälle mit zusätzlicher Vorspannung ohne weitere Verstärkungsmaßnahmen aufgetragen. In mehr als der Hälfte aller untersuchten Anwendungsfälle (63 %, 17 Brücken) betrug die Dauer der Verstärkungsmaßnahme weniger als acht Monate. Allerdings dauerte die Verstärkung bei fünf Brücken (19 %) länger als ein Jahr, wobei nur bei zwei Brücken (8 %) eine Verstärkungsdauer von über zwei Jahren erforderlich war (Bild 58).

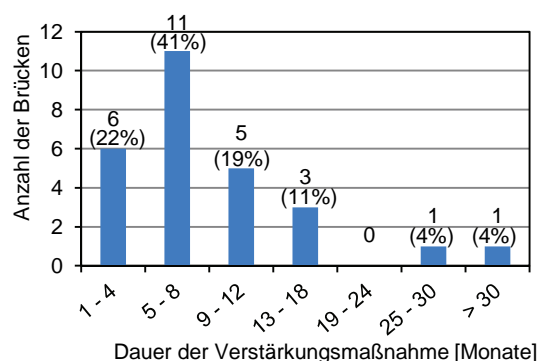


Bild 58: Dauer der Verstärkungsmaßnahme (Zusätzliche Vorspannung)

Da die Dauer der Verstärkungsmaßnahme insbesondere dann von Interesse ist, wenn Nutzungseinschränkungen während der Brückenverstärkung auftreten, ist in Bild 59 die Dauer der Verstärkung mittels zusätzlicher Vorspannung nur für die 13 Brücken dargestellt, bei denen die Nutzung der Brücke während der Verstärkung eingeschränkt wurde. Auch hier beträgt in mehr als der Hälfte der untersuchten Anwendungsfälle (85 %, 11 Brücken) die Dauer der Verstärkungsmaßnahme weniger als acht Monate; bei zwei Brücken (je 8 %) betrug die Verstärkungsdauer allerdings länger als ein Jahr bzw. länger als zwei Jahre (Bild 59).

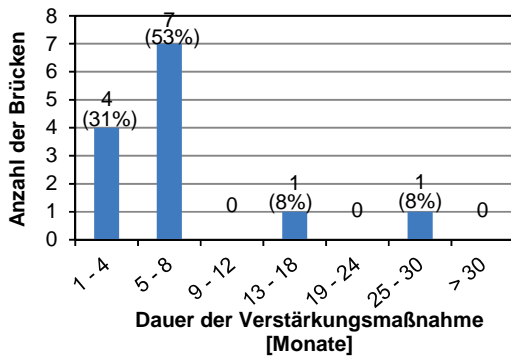


Bild 59: Dauer der Verstärkungsmaßnahme bei Brücken mit Nutzungseinschränkungen infolge der Verstärkung (Zusätzliche Vorspannung)

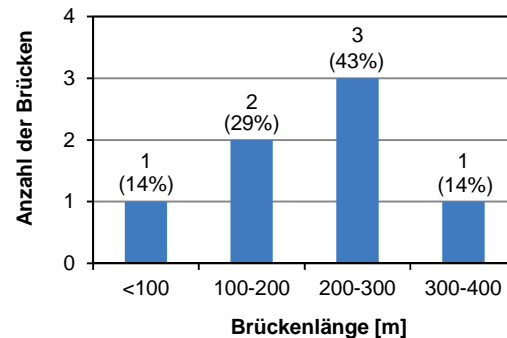


Bild 60: Brückenlänge (Querkraftverstärkung)

3.2 Querkraftverstärkung mit Stabspanngliedern oder Schublaschen aus Stahl

3.2.1 Bestandsaufnahme: Beispiele Brückenverstärkungen

Zur Querkraftverstärkung mit Schubstangen oder Stabspanngliedern liegen sieben Anwendungsfälle vor, während ausschließlich Schublaschen bei keinem der vorliegenden Anwendungsfälle zum Einsatz kamen. Bei einem Anwendungsfall handelt es sich allerdings um eine Kombination aus Stabspanngliedern und Schublaschen. Hierauf wird im Kapitel 3.2.3 näher eingegangen. Im Folgenden wird ein Überblick über die zur Verfügung gestellten Anwendungsfälle bezüglich ihrer Überbauart, der Brückenlänge, der mittleren Stützweite sowie der Baujahre gegeben.

Überbauart

Alle sieben Brücken, die mittels Schubstangen bzw. Stabspanngliedern verstärkt wurden, weisen Hohlkastenquerschnitte auf.

Brückenlänge und mittlere Stützweite

Bilder 60 und 61 geben einen Überblick über die Brückenlängen und mittleren Stützweiten der vorliegenden Anwendungsfälle. Es liegen Anwendungsfälle zu Brücken mit einer Gesamtlänge von bis zu knapp 400 m mit Einzelstützweiten zwischen 20 und 70 m vor, wobei der größte Anteil der Brücken zwischen 100 und 300 m lang ist (fünf Brücken, 71 %) und Stützweiten zwischen 30 und 40 m aufweisen (drei Brücken, 43 %).

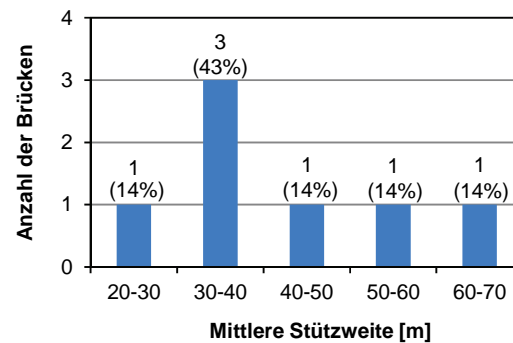


Bild 61: Mittlere Stützweiten (Querkraftverstärkung)

Baujahr

Die Untersuchung der Brückenbaujahre zeigt, dass der überwiegende Anteil der Brücken, welche mittels Schubstangen, Stabspanngliedern oder Schublaschen verstärkt wurden, Ende der 1950er und Ende der 1960er Jahre gebaut wurde (Bild 62).

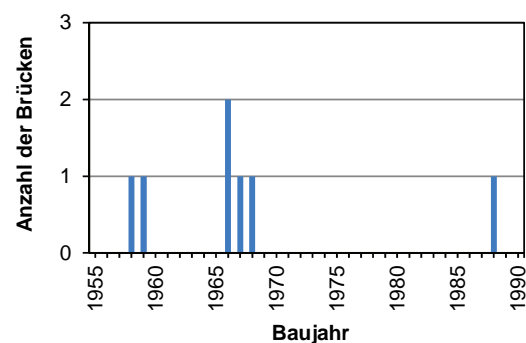


Bild 62: Brückenbaujahre (Querkraftverstärkung)

Die Erfordernisse der Querkraftverstärkung können unter anderem mit der Umstellung des Bemessungskonzeptes für die Querkraftbemessung von Spannbetonbrücken in den 70er Jahren vom Hauptzugspannungskriterium auf die Fachwerkanalogie begründet werden. Hierbei wurden die Querkraftwiderstände deutlich verringert, sodass Bauwerke, die nach dem

Hauptzugspannungskriterium bemessen wurden, das heutige Bemessungsniveau für die Querkrafttragfähigkeit nicht ausreichend abdecken (SCHNELLENBACH-HELD, 2010).

Auf Grundlage der Fragebögen sowie der zugehörigen Bauwerksbücher werden in den folgenden Kapiteln die Beispiele der Querkraftverstärkungen mit Schubstangen, Stabspanngliedern oder Schublaschen anhand verschiedener Kriterien (Nutzungseinschränkungen, Brückenklasse, etc.) ausgewertet. Vier der sieben mit Stabspanngliedern verstärkten Brücken wurden zusätzlich mittels zusätzlicher Längsvorspannung verstärkt, sodass für diese Brücken jeweils nur die Kombination dieser und teilweise weiterer, zusätzlicher Verstärkungsmaßnahmen bewertet werden kann.

3.2.2 Gründe für die Verstärkungsmaßnahme

Hauptgrund für die Verstärkung mit Schubstangen, Stabspanngliedern oder Schublaschen sind Defizite der Querkrafttragfähigkeit, die auf die Umstellung des Bemessungskonzeptes zurückgeführt werden können (vgl. Kapitel 3.2.1). So sind fünf der sieben Brücken (72 %) aufgrund eines Tragfähigkeitsdefizites verstärkt worden (Bild 63). Bei nur einer Brücke (14 %) lagen Überbauschäden vor. Bei einer Brücke (14 %) führte eine Nutzungsänderung zur Verstärkungsmaßnahme.

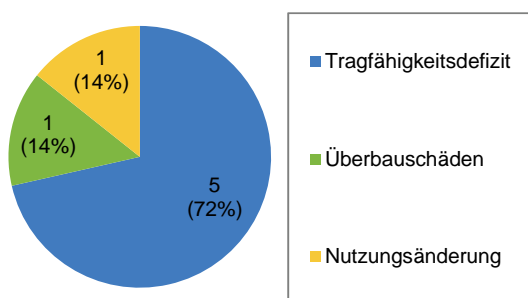


Bild 63: Gründe für die Verstärkung (Querkraftverstärkung)

3.2.3 Ausführungsdetails

Bezüglich der Ausführung der Verstärkung mittels Schubstangen, Stabspanngliedern oder Schublaschen sind die Verstärkungsorte in Brückenlängs- und Brückenquerrichtung, die verwendeten Materialien und die Verankerung von Interesse. Diese werden im Folgenden vorgestellt.

Verstärkungsort

Der Ort der Verstärkung in Brückenlängs- und Querrichtung ist bei sechs der sieben Anwendungsfälle bekannt. Während die Querkraftverstärkung mittels Schubstangen, Stabspanngliedern oder Schublaschen bei fünf Brücken (83 %) erwartungsgemäß lokal im Bereich der größten Querkraftbeanspruchung in den Auflagerbereichen angeordnet wurde, wurde eine Brücke (17 %) über die gesamte Länge mit schlaffen Schubstangen verstärkt (Bild 64). In allen Beispielen wurden die Bewehrungselemente stegnah, aber außerhalb der bestehenden Stege angebracht. In vier Fällen (67 %) wurden die zusätzlichen Bewehrungselemente sowohl an der Stegaußenseite als auch im Inneren des Hohlkastens angebracht, während bei jeweils einer Brücke (je 17 %) die Verstärkung nur innen bzw. nur außen an den Stegen angebracht wurde (Bild 65).

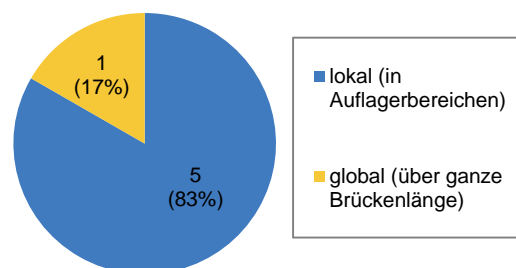


Bild 64: Ort der Verstärkung in Brückenlängsrichtung (Querkraftverstärkung)

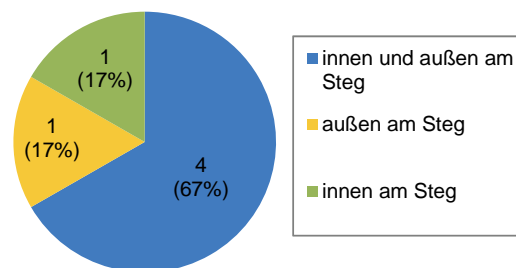


Bild 65: Ort der Verstärkung in Brückenquerrichtung (Querkraftverstärkung)

Art der Bewehrungselemente und Verankerung

Zur Art der Bewehrungselemente liegen für alle sieben Brücken Angaben vor (Bild 66). Bei fünf Brücken (71 %) wurden Stabspannglieder mit abZ verwendet. In jeweils zwei Fällen wurden hierbei Stabspannglieder mit einem Durchmesser von 26,5 mm im Verbund bzw. 32 mm ohne Verbund verwendet. Die Spannglieder im Verbund wurden in einem Hüllrohr verlegt und anschließend in eine Betonvorsatzschale unter Verwendung von Anschlussbewehrung eingebunden. Die

Stabspannglieder ohne Verbund wurden hingegen außerhalb der Verankerung an Ober- und Untergurt nicht an den Bestandsquerschnitt angebunden. Die Verankerung der Stabspannglieder dieser vier Brücken erfolgte in der Fahrbahnplatte mittels Ankerplatten und Ankermuttern. Am Untergurt erfolgte die Verankerung jeweils über eine aus zwei U-Profilen bestehende Stahlkonstruktion, über die die Last ebenfalls mittels Ankerplatten und Ankermuttern eingeleitet wurde. Zu der fünften Brücke liegen keine weiteren Informationen vor.

Bei einer Brücke wurde eine Kombination aus einer vorgespannten Gewindestange M20 an der Innenseite des Steges und einer Schublasche in Form eines Flachstahls 10 x 100 mm² der Festigkeitsklasse St52 an der Außen- und Unterseite des Steges verwendet. Die Verankerung in der Fahrbahnplatte erfolgte ebenfalls über Ankerplatten und Muttern. Der Flachstahl wurde hierzu an eine Gewindestange M20 geschweißt. An der Unterseite wurden die Gewindestange und der Flachstahl über einen Ankerkeil verbunden. Zudem wurde der Flachstahl außen mit einer 5 cm dicken Schicht aus kunststoffvergütetem Spritzmörtel (SPCC) geschützt. Für diese Konstruktion wurde eine ZiE erwirkt.

Bei einer Brücke kam ein Gewindestahl B500 zum Einsatz, für den keine abZ oder ZiE erforderlich war, da es sich hierbei laut Fragebogen um eine temporäre Behelfslösung handelte.

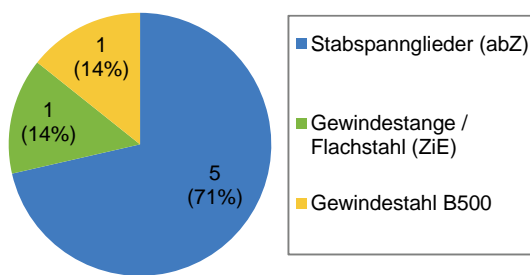


Bild 66: Art der Bewehrungselemente (Querkraftverstärkung)

3.2.4 Nutzungseinschränkungen

Die Auswirkungen des Verfahrens auf den laufenden Betrieb und die Wirksamkeit der Verstärkung werden durch die Auswertung der Nutzungseinschränkungen zu verschiedenen Zeitpunkten untersucht. Hierzu werden die Nutzungseinschränkungen vor, während und nach der Verstärkungsmaßnahme ausgewertet (Bild 67). Obwohl bei mehr als der Hälfte der Brücken (vier Brücken, 57 %) zusätzlich andere

Verstärkungstechniken angewendet wurden und somit nicht eindeutig identifiziert werden kann, auf welche Verstärkungsmaßnahme die gegebenenfalls erforderlichen Nutzungsbeschränkungen zurückgeführt werden können, werden alle sieben Beispielbrücken für die Auswertung herangezogen.

Die einzelnen Nutzungseinschränkungen sind in Bild 68 näher spezifiziert. Von drei der sieben Brücken ist bekannt, dass die Nutzung vor der Verstärkung eingeschränkt war. Hierbei wurde bei zwei Brücken, bei denen kein Schaden vorlag, im Rahmen einer Nachrechnung eine Rückstufung der Brückenklasse bzw. bei einer Brücke die Umleitung von Schwerlastverkehr erforderlich, was zum Teil auch nach der Verstärkungsmaßnahme Bestand behielt. Die Nutzungseinschränkungen der Brücke mit Schaden konnten hingegen durch die Verstärkungsmaßnahme aufgehoben werden. Während der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme waren bei allen sieben Brücken Nutzungseinschränkungen erforderlich. Die häufigsten Nutzungseinschränkungen während der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme sind Sperrungen von Fahrstreifen (57 %, vier Brücken), Rückstufungen der Brückenklasse (43 %, drei Brücken), eine geänderte Verkehrsführung auf der Brücke und die Umleitung von Schwerlastverkehr (je 29 %, je zwei Brücken; Bild 68).

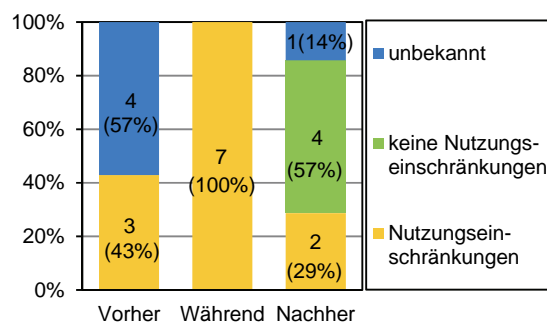


Bild 67: Nutzungseinschränkungen (Querkraftverstärkung)

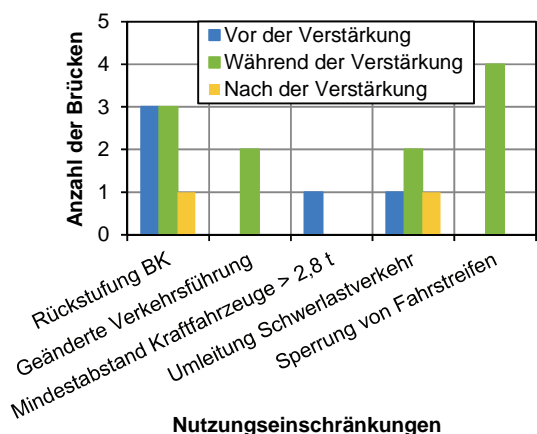


Bild 68: Nutzungseinschränkungen (Querkraftverstärkung)

3.2.5 Veränderung der Brückenklassen

Die Wirksamkeit der Verstärkung wird im Folgenden anhand eines Vergleiches der Brückenklassen vor und nach der Verstärkung bewertet. Bei 71 % der Brücken (fünf Brücken) konnte die Brückenklasse durch die Verstärkung gesteigert werden, wobei allerdings drei der fünf Brücken zusätzlich durch andere Verstärkungstechniken ertüchtigt wurden. Bei den restlichen 29 % (zwei Brücken) blieb die Brückenklasse unverändert.

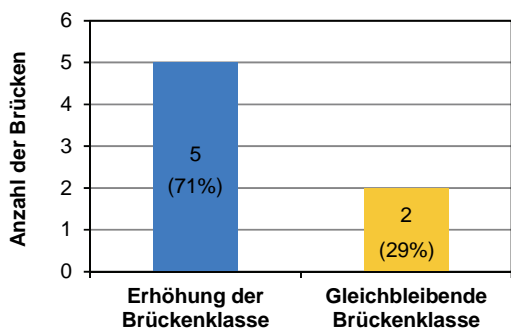


Bild 69: Auswirkung der Verstärkungsmaßnahme auf die Brückenklasse (Querkraftverstärkung)

In Bild 70 sind die ursprünglichen Brückenklassen der sieben mit Schubstangen, Stabspanngliedern oder Schublaschen verstärkten Brücken, die Brückenklassen infolge Nachrechnung und die Brückenklassen nach der Verstärkungsmaßnahme dargestellt. Wie in Kapitel 3.2.4 beschrieben, wurde die Brückenklasse von drei Brücken infolge einer Nachrechnung zurückgestuft (Brücken 1, 5 und 7). Während bei zwei dieser Brücken durch die Verstärkung die ursprüngliche Brückenklasse wieder hergestellt werden konnte (Brücken 1 und 7), blieb bei einer Brücke (Brücke 5) die Rückstufung der Brückenklasse auch nach der Verstärkung bestehen. Während die Brücken 1 bis

4 zusätzlich durch weitere Verstärkungsmaßnahmen verstärkt wurden, konnte die Anhebung der Brückenklasse bzw. die Wiedereinstufung in eine höhere Brückenklasse bei den Brücken 6 und 7 alleine durch die Verstärkung mit Stabspanngliedern bzw. Schubstangen erzielt werden.

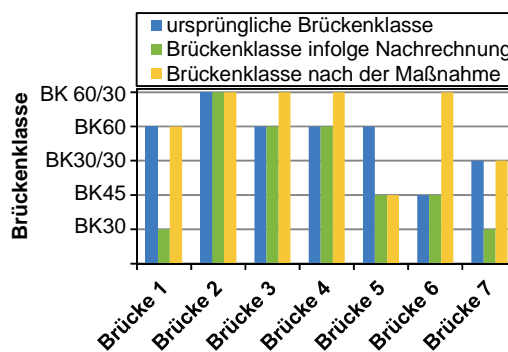


Bild 70: Brückenklassen (Querkraftverstärkung)

Vor der Verstärkung waren (zum Teil infolge der Nachrechnung) jeweils zwei Brücken (je 29 %) in die Brückenklassen 30, 45 und 60 eingestuft und nur eine Brücke der Brückenklasse 60/30 zugeordnet (Bild 71). Nach der Verstärkung hingegen konnten durch die vielfache Erhöhung der Brückenklasse der größte Teil der Brücken (vier Brücken, 57 %) der Brückenklasse 60/30 zugeordnet werden, gefolgt von jeweils einer Brücke (je 14 %) der Brückenklassen 60, 30/30 und 45 (Bild 72).

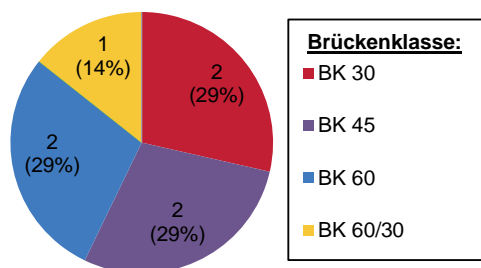


Bild 71: Brückenklassen vor der Verstärkung infolge Nachrechnung (Querkraftverstärkung)

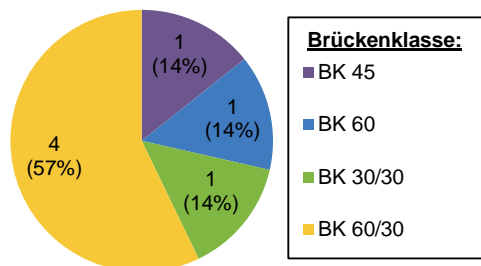


Bild 72: Brückenklassen nach der Verstärkung (Querkraftverstärkung)

3.2.6 Wirtschaftlichkeit

Da vier der sieben Brücken zusätzlich durch weitere Verfahren verstärkt wurden, kann die Wirtschaftlichkeit einer Querkraftverstärkung mit Schubstangen, Stabspanngliedern oder Schublaschen anhand von nur drei Beispielen bewertet werden. Wie schon bei der zusätzlichen Vorspannung werden im Folgenden mit den Kosten sowie der Dauer der vorliegenden Verstärkungsbeispiele zwei Kriterien einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung betrachtet, ohne dass eine abschließende Bewertung möglich ist.

Kosten

Die Verteilung der Kosten der Verstärkungsmaßnahme bezogen auf die jeweilige Brückenfläche ist in Bild 73 dargestellt. Die Kosten betragen bei einer Brücke (33 %) zwischen 150 und 200 €/m² und bei zwei Brücken (67 %) 250 bis 300 €/m².

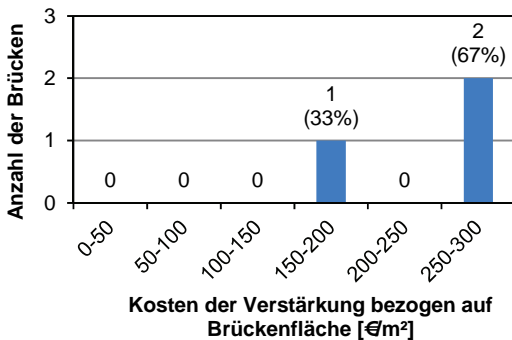


Bild 73: Kosten der Verstärkung bezogen auf Brückenfläche (Querkraftverstärkung)

Die Kosten für die Verstärkungsmaßnahme bezogen auf die Baukosten unter Berücksichtigung der Baupreisindizes nach Tab. 1 sind in Bild 74 dargestellt. Die bezogenen Kosten betragen 15-20 % (eine Brücke, 33 %) bzw. 25-30 % (zwei Brücken, 67 %) der ursprünglichen Baukosten. Wie schon bei der Auswertung der zusätzlichen Vorspannung erwähnt, müsste zur Abschätzung eines direkten Kostenvergleichs und dem langfristigen Nutzen der beiden Varianten Neubau und Instandsetzung die Restnutzungsdauer und die Preisentwicklung mit einbezogen werden. Da keine Angaben zur Restnutzungsdauer der Brücken gemacht wurden, kann dieser Vergleich jedoch nicht erfolgen.

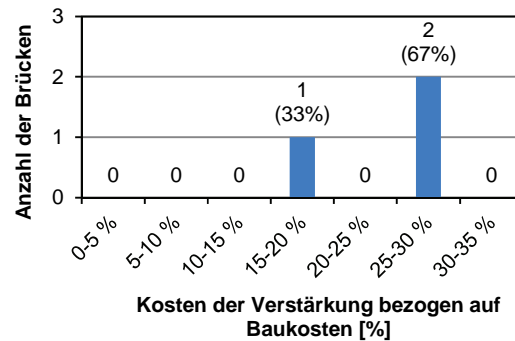


Bild 74: Kosten der Verstärkung bezogen auf Baukosten unter Berücksichtigung der Baupreisindizes nach Tab. 1 (Querkraftverstärkung)

Dauer

Der Einfluss von Nutzungseinschränkungen während der Durchführung einer Verstärkungsmaßnahme auf deren Wirtschaftlichkeit hängt u.a. von der Dauer der Verstärkungsarbeiten ab. Daher ist in Bild 75 die Verteilung der Dauer der Verstärkungsmaßnahme aller Anwendungsfälle, die ausschließlich mit Schubstangen bzw. Stabspanngliedern verstärkt wurden, aufgetragen. Bei allen untersuchten Anwendungsfällen betrug die Dauer der Verstärkungsmaßnahme weniger als acht Monate. Die Dauer der Verstärkung war mit zwei, vier und fünf Monaten deutlich geringer als beispielsweise bei der ergänzten Vorspannung. Hierbei traten allerdings bei allen Beispielen Nutzungseinschränkungen während der Verstärkung auf (vgl. Bild 67).

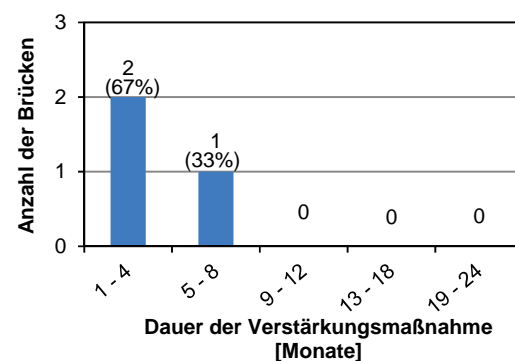


Bild 75: Dauer der Verstärkungsmaßnahme (Querkraftverstärkung)

3.3 Aufbeton mit Verdübelung

3.3.1 Bestandsaufnahme: Beispiele Brückenverstärkungen

Für die Verstärkung mittels Aufbeton mit Verdübelung liegen insgesamt sechs

Anwendungsfälle vor. Bei einem der vorliegenden Beispiele kamen in Kombination mit der Verstärkung durch Aufbeton mit Verdübelung zusätzlich auf der Unterseite des Überbauquerschnitts aufgeklebte CFK-Lamellen zum Einsatz.

Im Folgenden wird ein Überblick über die zur Verfügung gestellten Anwendungsfälle bezüglich ihrer Überbauart, der Brückenlänge, der mittleren Stützweite sowie der Baujahre gegeben.

Überbauart

Vier der insgesamt sechs Brücken, die mittels Aufbeton mit Verdübelung verstärkt wurden, weisen Plattenquerschnitte auf, wobei eine als Hohlkörperplatte mit Zellkästen ausgebildet war. Die weiteren zwei Brücken weisen 2- und 3-stegige Plattenbalken als Überbauquerschnitt auf.

Brückenlänge und mittlere Stützweite

Bilder 76 und 77 geben die Brückenlängen und mittleren Stützweiten der vorliegenden Anwendungsfälle wieder. Die durch Aufbeton mit Verdübelung verstärkten Brücken weisen Gesamtlängen zwischen ca. 10 m bis ca. 40 m auf. Die Einzelstützweiten liegen zwischen ca. 10 und ca. 20 m.

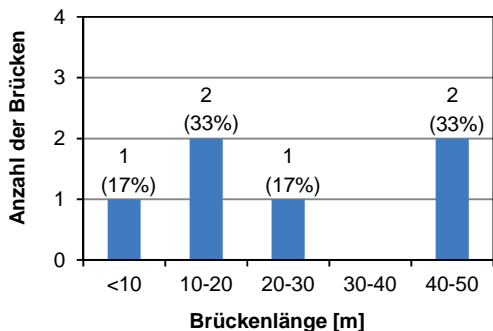


Bild 76: Brückenlänge (Aufbeton mit Verdübelung)

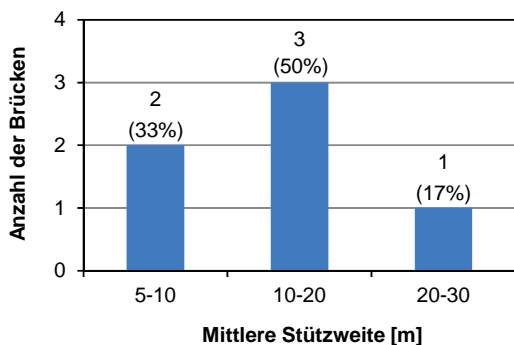


Bild 77: Mittlere Stützweiten (Aufbeton mit Verdübelung)

Baujahr

Die Zuordnung der Brückenbaujahre bringt zum Ausdruck, dass der überwiegende Anteil der Brücken, welche mittels Aufbeton mit Verdübelung verstärkt wurden, Ende der 1950er bis Mitte der 1960er Jahre erstellt wurde (Bild 78).

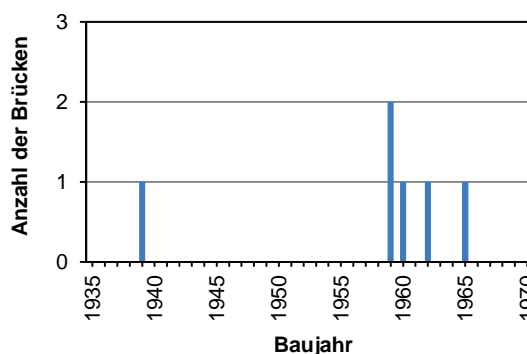


Bild 78: Brückenbaujahre (Aufbeton mit Verdübelung)

3.3.2 Gründe für die Verstärkungsmaßnahme

Hauptgrund für die Verstärkung durch Aufbeton mit Verdübelung ist die Erhöhung der Tragfähigkeit auf Biegung. Zusätzlich wird durch die Vergrößerung des inneren Hebelarms die Querkrafttragfähigkeit verbessert. Bei den vorliegenden Beispielen war die Maßnahme aufgrund von Schäden an der Fahrbahnplatte bei zwei Brücken erforderlich. Bei den weiteren vier Brücken war die Einstufung in eine höhere Brückenklasse maßgebend für die Verstärkung durch Aufbeton mit Verdübelung (Bild 79).

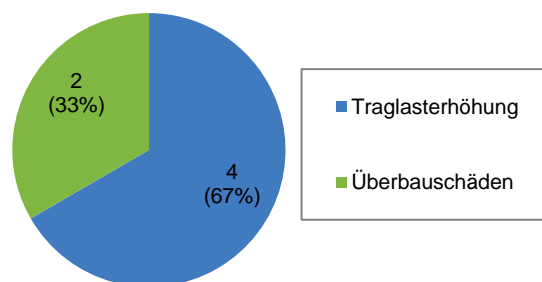


Bild 79: Gründe für die Verstärkung (Aufbeton mit Verdübelung)

3.3.3 Ausführungsdetails

Bezüglich der Ausführung der Verstärkung mittels Aufbeton mit Verdübelung sind die Stärke der Ortbetonschicht, die verwendete Betongüte und

die verwendete Verbundbewehrung von Interesse. Diese werden im Folgenden vorgestellt.

Das Vorgehen zur Vorbereitung der Betonunterlage war bei allen Anwendungsfällen identisch. Nach dem Entfernen des kompletten Belagaufbaus wurden mittels Höchstdruckwasserstählen 1-2 cm des Konstruktionsbetons abgetragen und somit durch Freilegen des Größtkorns eine raue Fuge zwischen Alt- und Neubeton erzeugt. Der für den Aufbeton mit Verdübelung verwendete Beton entsprach in fünf der insgesamt sechs Anwendungsfälle der Druckfestigkeitsklasse C35/45, in einem Fall wurden Beton der Druckfestigkeitsklasse C30/37 verwendet. Nähere Angaben bezüglich der Betonzusammensetzung sind nur für eine Verstärkung bekannt. Hier wurden als Zuschlag ein gebrochenes Korn sowie ein w/z-Wert von 0,45 gewählt. Die Stärke der Ortbetonergänzung betrug je nach Längs- und Quergefälle zwischen minimal 8 cm und maximal 24 cm. Die Verbundbewehrung wurde bei drei Brücken mit eingeklebten Kopfbolzen, bei zwei Brücken mit eingeklebten Bewehrungsstäben und in einem Fall mit Dübeln aus Gusseisen realisiert. Gemäß den Angaben war lediglich bei zwei Fällen eine Zulassung im Einzelfall für die verwendete Verbundbewehrung erforderlich. Eine Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite wurde in einem Fall explizit nachgewiesen.

3.3.4 Nutzungseinschränkungen

Vor der Verstärkung wurde bei einer Brücke mit starken Schädigungen eine Sperrung für den Schwerverkehr vorgenommen. Dieser musste auf eine Umleitungsstrecke ausweichen.

Während der Baumaßnahme bestand die Nutzungseinschränkung in fünf Fällen in der teilweisen Sperrung von Fahrstreifen, die teilweise eine Anpassung der Verkehrsführung nach sich zogen. In einem Fall wurde die Verstärkung unter Vollsperrung der Brücke durchgeführt.

Nach der Verstärkung blieb die Brücke, wie bereits vor der Verstärkung, für den Schwerverkehr gesperrt.

3.3.5 Veränderung der Brückenklassen

Der Erfolg der Verstärkung wird nachfolgend anhand eines Vergleiches der Brückenklassen vor und nach der Verstärkung bewertet. Gemäß Bild 80 konnte bei 62 % der Brücken (4 Brücken) die Brückenklasse durch die Verstärkung erhöht werden, wobei eine der vier Brücken in

Kombination mit einer weiteren Verstärkungstechnik (aufgeklebte CFK-Lamellen) verstärkt wurde. Bei den restlichen 38 % (zwei Brücken) ist die Brückenklasse unverändert geblieben.

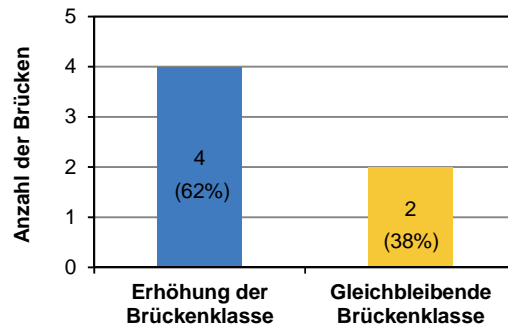


Bild 80: Auswirkung der Verstärkungsmaßnahme auf die Brückenklasse (Aufbeton mit Verdübelung)

In Bildern 81 und 82 sind die ursprünglichen Brückenklassen der sechs durch Aufbeton mit Verdübelung verstärkten Brücken sowie die Brückenklassen nach der Verstärkungsmaßnahme dargestellt.

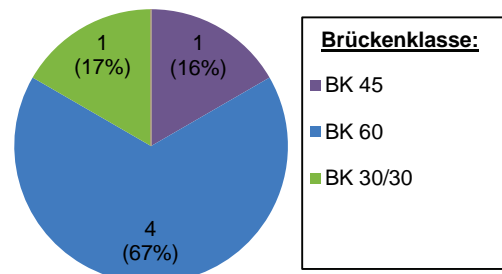


Bild 81: Brückenklassen vor der Verstärkung (Aufbeton mit Verdübelung)

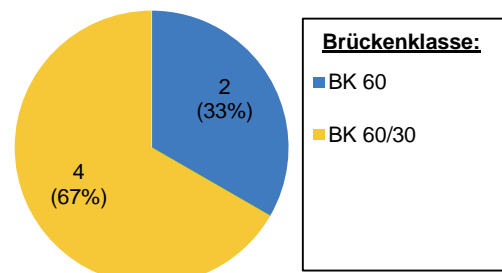


Bild 82: Brückenklassen nach der Verstärkung (Aufbeton mit Verdübelung)

3.3.6 Wirtschaftlichkeit

Da zu zwei der sechs Brücken keine verwertbaren Angaben bezüglich der tatsächlichen Kosten der Verstärkungsmaßnahme vorliegen, kann die Auswertung der angefallenen Kosten und demzufolge der Wirtschaftlichkeit des Verfahrens lediglich auf Basis von vier Beispielen erfolgen. Wie bei den zuvor angeführten Beispielen für die jeweiligen Verstärkungstechniken werden nachfolgend mit den Kosten sowie der Dauer der vorliegenden Verstärkungsbeispiele zwei Kriterien einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung betrachtet.

Kosten

Die Aufschlüsselung der Kosten der Verstärkungsmaßnahme bezogen auf die jeweilige Brückenfläche ist in Bild 83 dargestellt. Die Kosten betragen bei einer Brücke unter 150 €/m², bei zwei Brücken unter 300 €/m² und liegen bei einer Brücke bei ca. 350 €/m².

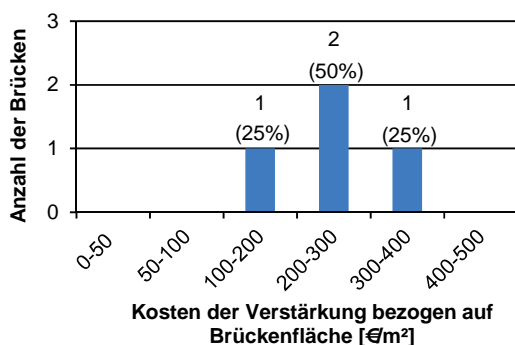


Bild 83: Kosten der Verstärkung bezogen auf Brückenfläche (Aufbeton mit Verdübelung)

Die Kosten der Verstärkungsmaßnahmen bezogen auf die ursprünglichen Baukosten unter Berücksichtigung der Baupreisindizes nach Tab. 1 sind in Bild 84 dargestellt. Die bezogenen Kosten betragen für je zwei Brücken unter 10 % bzw. 10 - 20 % der Baukosten.

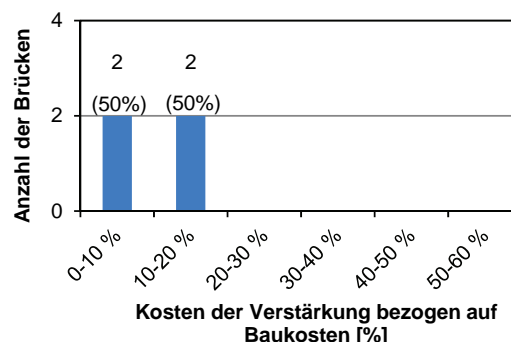


Bild 84: Kosten der Verstärkung bezogen auf Baukosten unter Berücksichtigung der Baupreisindizes nach Tab. 1 (Aufbeton mit Verdübelung)

Dauer

In Bild 85 ist die Verteilung der Verstärkungsdauer aller Anwendungsfälle, die durch Aufbeton mit Verdübelung verstärkt wurden, aufgetragen. Bei allen untersuchten Anwendungsfällen betrug die Dauer der Verstärkungsmaßnahme weniger als acht Monate.

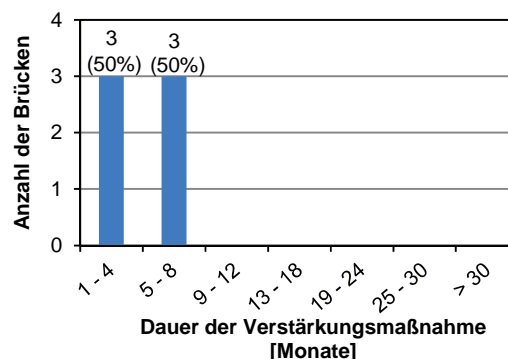


Bild 85: Dauer der Verstärkungsmaßnahme (Aufbeton mit Verdübelung)

3.4 Zusätzliche Bewehrung in Nuten

3.4.1 Bestandsaufnahme: Beispiele Brückenverstärkungen

Zur Verstärkung durch zusätzliche Bewehrung in Nuten wurden drei Anwendungsbeispiele eingereicht. Bei einem der Beispiele wurde das Verfahren jedoch lediglich für die Verstärkung des Endquerträgers im Zuge der Verbreiterung einer Hochstraßenrampe eingesetzt. Nachfolgend wird ein Überblick über die zur Verfügung gestellten Anwendungsfälle bezüglich ihrer Überbauart, der Brückenlänge, der mittleren Stützweite sowie der Baujahre gegeben.

Überbauart

Bei den Überbauquerschnitten der insgesamt drei Beispielbrücken handelt es sich um Hohlkasten- und Plattenbalkenquerschnitte sowie um einen Spannbetonfertigteilträger mit Ortbetoneingängung.

Brückenlänge und mittlere Stützweite

In den Bildern 86 und 87 wird ein Überblick über die Brückenlängen und mittleren Stützweiten der vorliegenden Anwendungsfälle gegeben. Die Gesamtlängen der Brücken liegen zwischen 160 und ca. 420 m. Die Einzelstützweiten betragen dabei zwischen 23 und ca. 42 m.

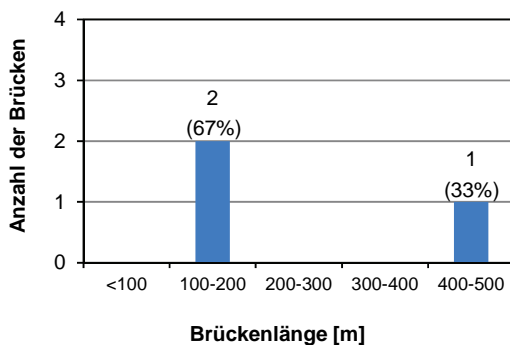


Bild 86: Brückenlänge (Bewehrung in Nuten)

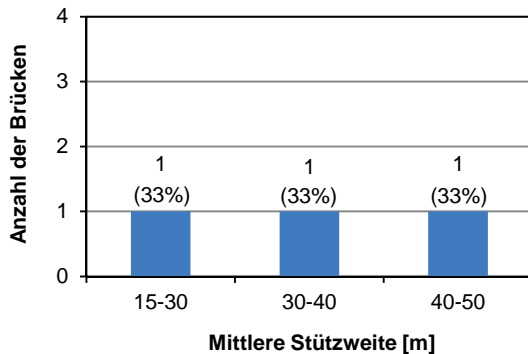


Bild 87: Mittlere Stützweiten (Bewehrung in Nuten)

Baujahr

Die Betrachtung der Brückenbaujahre (Bild 88) zeigt, dass die Brücken, die mittels zusätzlicher Bewehrung in Nuten verstärkt wurden, vorwiegend Mitte der 1970er Jahre errichtet wurden.

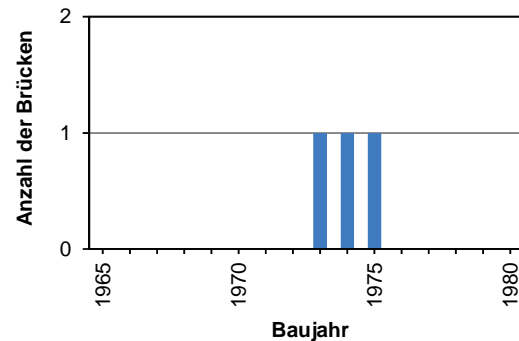


Bild 88: Brückenbaujahre (Bewehrung in Nuten)

3.4.2 Gründe für die Verstärkungsmaßnahme

Bei zwei der drei Beispielbrücken waren Dauerfestigkeitsprobleme, die bereits als Schaden eingestuft werden konnten bzw. die Herabsetzung der Spannungsänderungen des Spannstahls im Bereich jeweils einer Koppelfuge der Hauptgrund für die Notwendigkeit der Verstärkung. Bei der anderen Brücke war im Rahmen einer Erweiterung um eine Fahrspur die Verstärkung der Auflagerquerträger in deren Feldbereichen erforderlich.

3.4.3 Ausführungsdetails

Bezüglich der Ausführung der Verstärkung mittels zusätzlicher Bewehrung in Nuten gehen aus den Angaben die wesentlichen Details wie die Verstärkungsstellen in Brückenlängs- und Brückenquerrichtung, die Art der Verstärkungsanwendung sowie die verwendeten Materialien hervor.

Verstärkungsort

Bei der Brücke mit Hohlkastenquerschnitt wurde die zusätzliche Bewehrung als lokale Verstärkung im Inneren des Hohlkastens koppelfugenübergreifend eingebracht. Im Fall der Plattenbalkenbrücke wurden an den Unterseiten der Stege, ebenfalls zur lokalen Verstärkung, je zwölf Nuten (7/10 cm) mit einer Gesamtlänge von 150 m hergestellt, in die zusätzliche schlaffe Bewehrung mit einem wirksamen Querschnitt von 37 cm² eingelegt wurde (6 Ø 28 je Steg, Einzelstablänge 12 m). Die Verstärkung der Auflagerquerträger mit Doppel-T-Form der Hochstraßenrampe erfolgte nach dem gassenartigen Freilegen der unteren Feldbewehrung mittels HDW durch Einfädeln der zusätzlichen schlaffen Bewehrung innerhalb der vorhandenen Bügelbewehrung. Die Schließung der Bewehrungsgassen wiederum wurde mit

Spritzbeton erreicht. Die Besonderheit bei dieser Anwendung lag darin, dass aufgrund einer nicht möglichen Sperrung der Brücke während der Verstärkungsmaßnahme Bauwerksschwingungen zulässig bzw. tolerierbar sein mussten.

3.4.4 Nutzungseinschränkungen

Die Beeinflussungen des laufenden Betriebes durch die Bauausführung und die Effizienz der Verstärkung werden in Form einer Auswertung der Nutzungseinschränkungen zu verschiedenen Zeitpunkten untersucht.

Vor der Maßnahme gab es bei keiner der untersuchten Brücke Nutzungseinschränkungen.

Während der Durchführung der Maßnahme musste bei einer Brücke vorübergehend eine Fahrbahn in das Nachbarfeld verlegt werden.

Nach der Maßnahme gab es ebenfalls bei keiner der Brücken Nutzungseinschränkungen.

3.4.5 Veränderung der Brückenklassen

Die Effizienz der Verstärkung wird im Folgenden anhand eines Vergleiches der Brückenklassen vor und nach der Verstärkung bewertet. Bei einer Brücke konnte durch die lokale Verstärkung einer defizitären Koppelfuge eine Erhöhung der Brückenklasse infolge der Nachrechnung erzielt werden (von BK 60 auf BK 60/30). Bei den weiteren beiden Brücken blieb die Brückenklasse unverändert (BK 60).

3.4.6 Wirtschaftlichkeit

Kosten

Da in den vorliegenden Beispielen das Verfahren entweder lokal (zwei Brücken) bzw. im Zuge der Verbreiterung des gesamten Teilbauwerkes angewendet wurde, ist eine Bewertung in Bezug auf die Brückenfläche bzw. auf die Baukosten wenig repräsentativ.

Bei der Anwendung zur Koppelfugensanierung liegen die per Preisindizes angepassten Kosten zwischen 2 und 9 % der ursprünglichen Baukosten.

Dauer

Nachfolgend werden die Dauer der Verstärkungsmaßnahme und die möglicherweise damit verbundene Nutzungseinschränkung als ein weiterer Aspekt der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung heran-gezogen.

Gemäß den Angaben der Fragebögen betrug die Ausführungsdauer zwischen 2 und ca. 6 Monaten. Eine Nutzungseinschränkung in Form der Verlegung von Fahrspuren war lediglich im Fall der Brückenverbreiterung gegeben, was jedoch nicht zwingend der Verstärkung durch zusätzliche Bewehrung in Nuten geschuldet sein muss, sondern eher den umfangreichen Arbeiten im Bereich der Fahrbahnplatte zuzuschreiben ist.

3.5 Aufgeklebte CFK-Lamellen

3.5.1 Bestandsaufnahme: Beispiele Brückenverstärkungen

Zur Verstärkung mittels schlaff aufgeklebter CFK-Lamellen liegen insgesamt neun Anwendungsfälle vor. Bei zwei der aufgeführten Beispiele ist anzumerken, dass die Verstärkung notwendig war, um Zugangsöffnungen in den Bodenplatten von Hohlkastenquerschnitten herzustellen. Diese wurden zum einen für den Einbau zusätzlicher externer Spannglieder, zum anderen um eine generelle Zugänglichkeit im Rahmen einer Bauwerksprüfung zu schaffen, benötigt. Bei einem weiteren Anwendungsfall wurde das Verfahren in Kombination mit einer zusätzlichen Verstärkungsmethode (Aufbeton mit Verdübelung), auf die in Kapitel 3.3.3 näher eingegangen wurde, angewendet. Nachfolgend wird eine Klassifizierung der eingegangenen Anwendungsfälle bezüglich ihrer Überbauart, der Brückenlänge, der mittleren Stützweite sowie der Baujahre vorgenommen.

Überbauart

Die Überbauquerschnitte der verstärkten Brücken sind wie in Bild 89 dargestellt auf Hohlkasten-, Rahmen-, Plattenbalken- und Plattenquerschnitt verteilt.

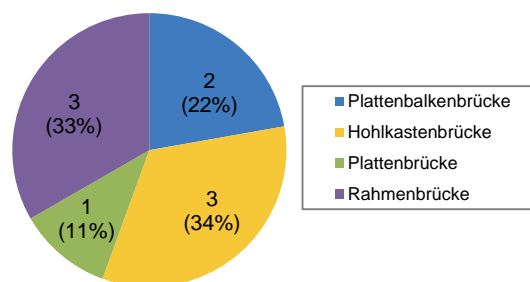


Bild 89: Überbauquerschnitte (Aufgeklebte CFK-Lamellen)

Brückenlänge und mittlere Stützweite

Die Bilder 90 und 91 geben einen Überblick über die Brückenlängen und die mittleren Stützweiten der vorliegenden Anwendungsfälle. Es liegen Anwendungsfälle zu Brücken mit einer Gesamtlänge von bis zu annähernd 800 m mit Einzelstützweiten zwischen 20 und 55 m vor.

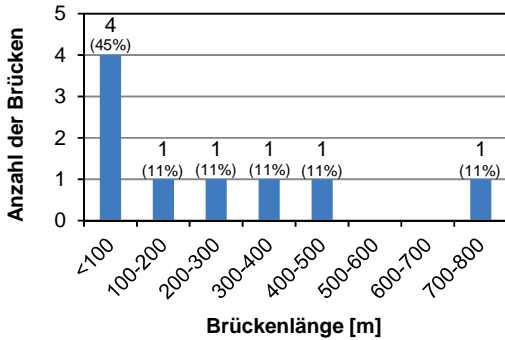


Bild 90: Brückenlänge (Aufgeklebte CFK-Lamellen)

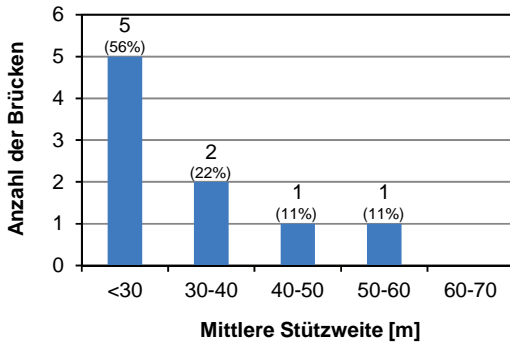


Bild 91: Mittlere Stützweiten (Aufgeklebte CFK-Lamellen)

Baujahr

Die Darstellung der Brückenbaujahre (Bild 92) zeigt, dass die untersuchten Brücken, welche mittels aufgeklebter CFK-Lamellen verstärkt wurden, von Mitte der 1950er bis Anfang der 1980er Jahre gebaut wurden.

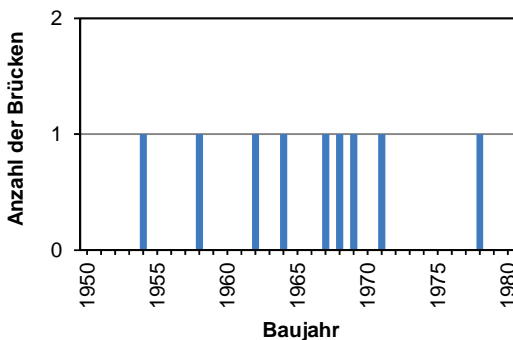


Bild 92: Brückenbaujahre (Aufgeklebte CFK-Lamellen)

Auf Grundlage der Fragebögen sowie der zugehörigen Bauwerksbücher werden in den folgenden Kapiteln die Beispiele der Brückenverstärkungen mit schlaff aufgeklebten CFK-Lamellen anhand verschiedener Kriterien (Nutzungseinschränkungen, Brückenklasse, etc.) ausgewertet. Eine der neun mit aufgeklebten CFK-Lamellen verstärkten Brücken wurde zusätzlich mittels Aufbeton mit Verdübelung verstärkt, sodass für diese Brücke jeweils nur die Kombination dieser und teilweise weiterer, zusätzlicher Verstärkungsmaßnahmen (zusätzliche externe Vorspannung, Aufbeton mit Verdübelung) bewertet werden kann.

3.5.2 Gründe für die Verstärkungsmaßnahme

In den vorliegenden Beispielen bestand der Hauptgrund für die Verstärkung mit aufgeklebten CFK-Lamellen in der Traglasterrhöhung der Brücken. Dies war bei insgesamt vier Brücken der Fall. Weitere Gründe waren zudem Tragfähigkeitsdefizite z.B. in Form von ausgefallener Quervorspannung sowie die Veränderung des Tragsystems. In zwei Fällen lässt sich die Anwendung der aufgeklebten CFK-Lamellen keiner Verstärkungsaufgabe im hier verstandenen Sinne zuweisen. Sie werden an dieser Stelle als bauliche Veränderung aufgeführt. Bei den jeweiligen Brücken mussten nachträgliche Öffnungen innerhalb der Bodenplatten der Hohlkastenquerschnitte hergestellt werden. Nach dem Schneiden der gewünschten Ausschnitte wurde mittels aufgeklebter CFK-Lamellen eine Auswechslung der entfallenen Bewehrung realisiert. In Bild 93 sind die Gründe für die Verstärkung dargestellt.

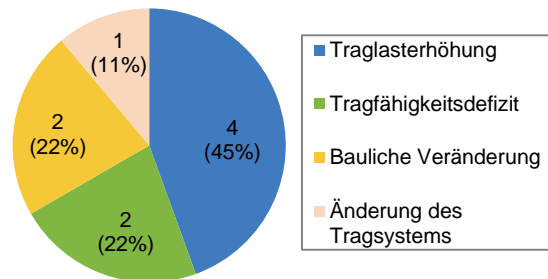


Bild 93: Gründe für die Verstärkung (Aufgeklebte CFK-Lamellen)

3.5.3 Nutzungseinschränkungen

Vor der Maßnahme waren laut den Angaben in den Fragebögen zwei Brücken in ihrer Nutzung

eingeschränkt, was sich in Form einer Fahrbahnei-Fahrbahneinengung (eine Brücke) sowie der Sperrung für Schwerverkehr über 63 t (eine Brücke) äußerte.

Während der Maßnahme musste an zwei Brücken aufgrund der Bauarbeiten eine Vollsperrung vorgenommen werden. Die weiteren Maßnahmen erfolgten ohne nennenswerte Beeinträchtigungen, bzw. entsprechende Angaben wurden nicht gemacht.

Nach der Durchführung der Maßnahme ist die bereits zuvor existierende Einschränkung (Sperrung für Schwerverkehr) aufrechterhalten worden.

3.5.4 Veränderung der Brückenklassen

Die Auswirkung der Verstärkung wird im Folgenden anhand eines Vergleiches der Brückenklassen vor und nach der Verstärkung bewertet. Für den Vergleich werden insgesamt neun Beispielbrücken herangezogen. Drei der neun Brücken wurden zusätzlich durch eine andere Verstärkungstechnik ertüchtigt. Bei 33 % der Brücken (drei Brücken) konnte eine Erhöhung der Brückenklasse durch die Verstärkung erzielt werden, wobei jedoch eine der drei Brücken zusätzlich durch Aufbeton mit Verdübelung verstärkt wurde. Bei den restlichen 66 % (sechs Brücken) ist die Brückenklasse unverändert geblieben (Bild 94). Zwei der sechs Brücken wurden zusätzlich zu den aufgeklebten CFK-Lamellen mit externer Vorspannung verstärkt.

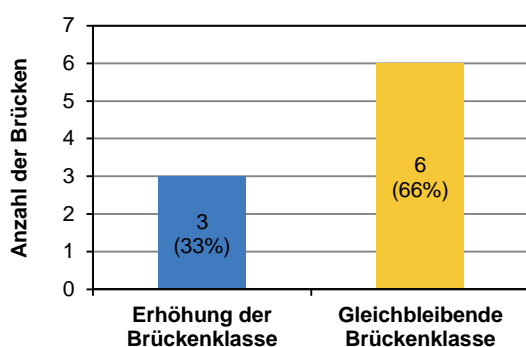


Bild 94: Auswirkung der Verstärkungsmaßnahme auf die Brückenklasse (Aufgeklebte CFK-Lamellen)

In Bild 95 sind die ursprünglichen Brückenklassen der neun mit aufgeklebten CFK-Lamellen verstärkten Brücken sowie in Bild 96 die Brückenklassen nach der Verstärkungsmaßnahme dargestellt.

Vor der Verstärkung waren insgesamt sieben Brücken (78 %) in die Brückenklasse

30 bzw. 30/30 (Bild 95) zugeordnet. Die Zugehörigkeit der Brückenklassen, die mit der Verstärkung erzielt wurde, ist in Bild 96 dargestellt.

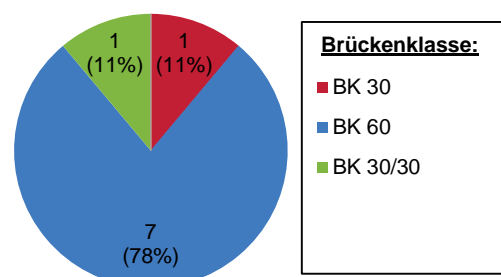


Bild 95: Brückenklassen vor der Verstärkung (Aufgeklebte CFK-Lamellen)

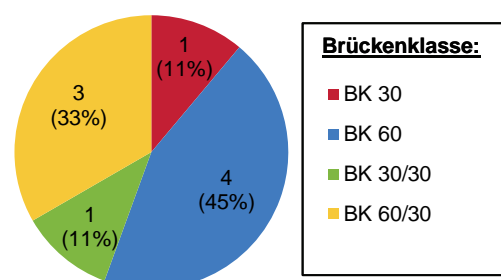


Bild 96: Brückenklassen nach der Verstärkung (Aufgeklebte CFK-Lamellen)

3.5.5 Wirtschaftlichkeit

Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Verstärkung mittel schlaff aufgeklebter CFK-Lamellen konnte aufgrund der verfügbaren Angaben lediglich anhand von drei Beispielen vorgenommen werden.

Kosten

Bezogen auf die Brückenfläche beliefen sich die Kosten der Maßnahmen auf 60 bis 180 €/m², was für die drei ausgewerteten Beispiele einen Durchschnittspreis von 100 €/m² entspricht.

Die Kosten für die Verstärkungsmaßnahme bezogen auf die Baukosten unter Berücksichtigung der Baupreisindizes nach Tab. 1 belaufen sich für die drei Beispiele auf 1 % bis 11 % der ursprünglichen Baukosten, was einem Durchschnitt von 6 % entspricht.

Dauer

Einen weiteren Aspekt der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung stellt in Hinblick auf mögliche Nutzungseinschränkungen während der Verstärkung die Dauer der Verstärkungsmaßnahme dar. In Bild 97 ist die Verteilung der Verstärkungsdauer aller Anwendungsfälle mit aufgeklebten CFK-Lamellen, zu denen Angaben vorliegen, aufgetragen. Bei allen untersuchten Anwendungsfällen betrug die Dauer der Verstärkungsmaßnahme weniger als 13 Monate, wobei beim überwiegenden Teil der Brücken nicht mehr als vier Monate benötigt wurden.

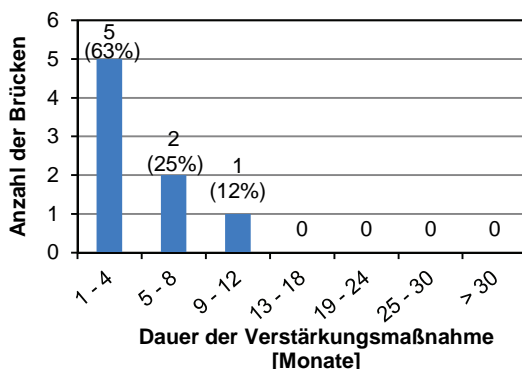


Bild 97: Dauer der Verstärkungsmaßnahme (Aufgeklebte CFK-Lamellen)

3.6 In Schlitze eingeklebte CFK-Lamellen

3.6.1 Bestandsaufnahme: Beispiele Brückenverstärkungen

Zur Verstärkung mit in Schlitze eingeklebten CFK-Lamellen liegen insgesamt drei Verstärkungsbeispiele vor.

Überbauart

Bei zwei der insgesamt drei Brücken, die mittels in Schlitze eingeklebter Lamellen verstärkt wurden, handelt es sich um Plattenbalkenquerschnitte, der Überbau der dritten Brücke besteht aus einem Hohlkastenquerschnitt.

Brückenlänge und mittlere Stützweite

Bilder 98 und 99 geben einen Überblick über die Brückenlängen und mittleren Stützweiten der vorliegenden Anwendungsfälle. Es liegen Anwendungsfälle zu Brücken mit einer Gesamtlänge von bis zu 300 m vor. Die Einzelstützweiten variieren zwischen 12 und 68 m.

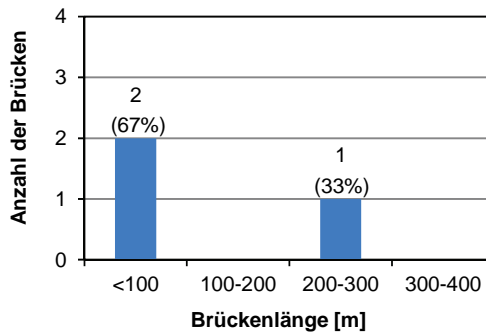


Bild 98: Brückenlänge (Eingeschlitzte CFK-Lamellen)

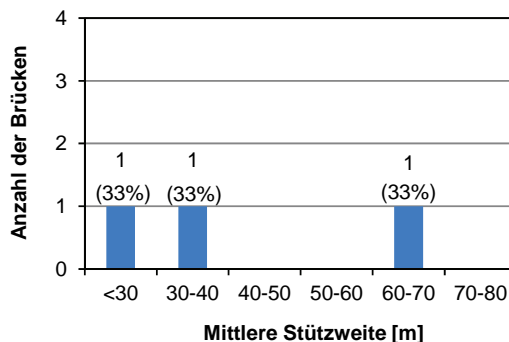


Bild 99: Mittlere Stützweiten (Eingeschlitzte CFK-Lamellen)

Baujahr

Die Untersuchung der Brückenbaujahre zeigt, dass die verstärkten Brücken Anfang der 1970er bis Ende der 1990er Jahre gebaut wurden (Bild 100).

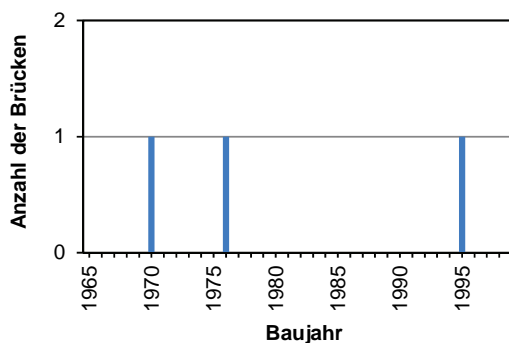


Bild 100: Brückenbaujahre (Eingeschlitzte CFK-Lamellen)

3.6.2 Gründe für die Verstärkungsmaßnahme

In den vorliegenden Beispielen waren die Verstärkungen zum einen in der Traglasthöhung (zwei Brücken), zum anderen in der Verbreiterung des Brückenüberbaus (eine Brücke) begründet. Schäden an den Bauwerken waren demnach nicht ursächlich für die durchgeführten Verstärkungsmaßnahmen.

3.6.3 Ausführungsdetails

Bezüglich der Ausführung der Verstärkung mittels in Schlitze eingeklebter CFK-Lamellen sind die Verstärkungsorte in Brückenlängs- und Brückenquerrichtung, die verwendeten Materialien und die Verankerung von Interesse. Diese werden im Folgenden vorgestellt.

Verstärkungsort

Der Ort der Verstärkung in Brückenlängs- und -querrichtung ist bei allen Anwendungsfällen bekannt. Bei zwei der drei Beispiele wurde die Verstärkung am Kragarm in Querrichtung durchgeführt, wodurch die Arbeiten von der Oberseite her zu erfolgen hatten. Bei der weiteren Anwendung des Verfahrens wurde die Verstärkung in Längsrichtung an der Unterseite des Querschnittes appliziert.

3.6.4 Nutzungseinschränkungen

Da bei einer Brücke im Zuge der Verbreiterung des Überbaus zusätzlich eine weitere Verstärkungstechnik (zusätzliche externe Vorspannung in Längsrichtung) angewendet wurde, ist eine eindeutige Aussage in diesem Fall nur schwer möglich.

Vor der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme war die Nutzung im Fall der nachträglich verbreiterten Brücke, bedingt durch permanente Staubbildung infolge des zu geringen Angebots an Fahrspuren, eingeschränkt. In den weiteren Fällen sind keine Nutzungseinschränkungen vor der Verstärkung genannt worden.

Während der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme (jeweils ca. ein Monat) waren bei allen drei Brücken Nutzungseinschränkungen in Form einer Vollsperrung des gesamten Bauwerks (Verbreiterung) bzw. die halbseitige Sperrung von Fahrspuren inklusive Geh- und Radwegen erforderlich.

Eine nach der Verstärkungsmaßnahme eingeführte Geschwindigkeitsbegrenzung ist nicht mit dem Erfolg bzw. Misserfolg der Verstärkungsmaßnahme in Verbindung zu bringen, sondern ist durch verkehrstechnische Gegebenheiten begründet.

3.6.5 Veränderung der Brückenklassen

Das Ergebnis der Verstärkung wird im Folgenden anhand eines Vergleiches der Brückenklassen vor und nach der Verstärkung bewertet. Bei zwei

Brücken konnte die Brückenklasse durch die Verstärkung gesteigert werden, wobei allerdings eine Brücke zusätzlich durch eine weitere Verstärkungstechnik verstärkt wurde. Bei der dritten Beispielbrücke blieb die Brückenklasse unverändert (Bild 101).

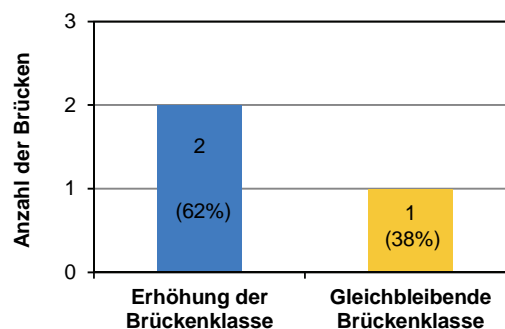


Bild 101: Auswirkung der Verstärkungsmaßnahme auf die Brückenklasse (Eingeschlitzte CFK-Lamellen)

In Bild 102 sind die ursprünglichen Brückenklassen der drei mit eingeschlitzten CFK-Lamellen und weiteren Verstärkungstechniken (eine Brücke) verstärkten Brücken dargestellt. Bild 103 zeigt die Brückenklassen nach der Verstärkungsmaßnahme.

Vor der Verstärkung war je eine Brücke in die Brückenklassen BK 30, BK 60 sowie BK 60/30 eingestuft (Bild 102). Nach der Verstärkung konnte bei einer Brücke die Brückenklasse von BK 30 auf BK 30/30 und bei der anderen von BK 60 auf LM1 nach DIN-Fachbericht 101 erhöht werden (Bild 103).

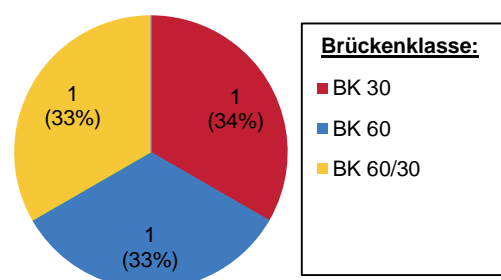


Bild 102: Brückenklassen vor der Verstärkung (Eingeschlitzte CFK-Lamellen)

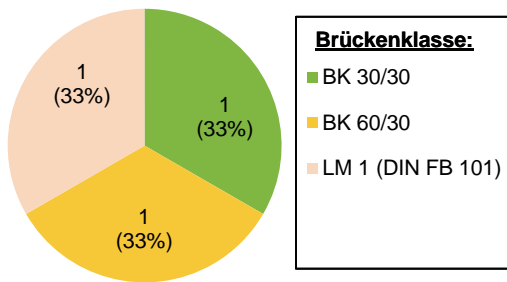


Bild 103: Brückenklassen nach der Verstärkung (Eingeschlitzte CFK-Lamellen)

3.6.6 Wirtschaftlichkeit

Da bei einer der drei Beispielbrücken die Verstärkung mit in Schlitze eingeklebten CFK-Lamellen in Kombination mit einer weiteren Verstärkungstechnik angewendet wurde, wird diese Brücke bei der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit nicht berücksichtigt.

Kosten

Die Kosten für die Verstärkungsmaßnahme, bezogen auf die Baukosten unter Berücksichtigung

der Baupreisindizes nach Tab. 1, liegen bei ca. 6,9 % und 8,4 % der ursprünglichen Baukosten.

Dauer

Bei den untersuchten Anwendungsfällen lagen Angaben für insgesamt zwei Maßnahmen vor. Im Fall der Verstärkung des Brückenquerschnittes in Längsrichtung betrug die Dauer der Verstärkungsmaßnahme einen Monat. Die Verbreiterung des Brückenquerschnittes wurde über einen Zeitraum von 13 Monaten durchgeführt.

Danksagung

An dieser Stelle wird der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) für die Beauftragung des Projektes und den Mitgliedern des Betreuungsausschusses für die fruchtbaren Diskussionen gedankt. Weiterhin ist den Mitarbeitern der Straßenbauverwaltungen und der Ingenieurbüros, die die Unterlagen zu den Anwendungsfällen zur Verfügung gestellt haben und bei Rückfragen gerne zu Verfügung standen, zu danken.

Literatur

- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR (BMV),
Abteilung Straßenbau: Schäden an Brücken
und anderen Ingenieurbauwerken.
Dokumentation 1982, Verkehrsblatt Verlag,
Dortmund, 1982
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR (BMV) ,
Abteilung Straßenbau: Schäden an Brücken
und anderen Ingenieurbauwerken.
Dokumentation 1994, Verkehrsblatt Verlag,
Dortmund, 1994
- BMVBS, BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR,
BAU UND STADTENTWICKLUNG: Richtlinie
zur Durchführung von Wirtschaftlichkeits-
untersuchungen im Rahmen von Instand-
setzungs-/ Erneuerungsmaßnahmen bei
Straßenbrücken. Berlin, 2007
- BMVBS, BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR,
BAU UND STADTENTWICKLUNG: Richtlinie
zur Nachrechnung von Straßenbrücken im
Bestand (Nachrechnungsrichtlinie). 2011
- BMVBS, BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR,
BAU UND STADTENTWICKLUNG: Strategie
zur Ertüchtigung der Straßenbrücken im
Bestand der Bundesfernstraßen. Berlin, Mai
2013
- BUSCHMEYER W.; RODER, C.; HAARDT, P.;
GUSIA, P.: Zum Verstärken von Betonbrücken
der Bundesfernstraßen. Bauingenieur, Band 84,
Mai 2009
- DAFSTB: Schutz und Instandsetzung von
Betonbauteilen. DAfStb-Richtlinie. Deutsches
Institut für Normung e.V. Berlin, Oktober 2001
- DAFSTB: Verstärken von Betonbauteilen mit
geklebter Bewehrung. DAfStb-Richtlinie.
Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin,
März 2012
- DESTATIS:
<https://www-genesis.destatis.de/genesis/online>,
Tabellen-Code-Nr 61261-0003, einschließlich
Umsatzsteuer, Letzter Zugriff: 28.02.2014
- DIN EN 14487-2: Spritzbeton –Teil 2: Ausführung;
Deutsche Fassung EN 14487-2:2006,
Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin,
Januar 2007 mit NAD: DIN 18551: Spritzbeton
– Nationale Anwendungsregeln zur Reihe DIN
EN 14487 und Regeln für die Bemessung von
Spritzbetonkonstruktionen, Deutsches Institut
für Normung e.V. Berlin, August 2014
- DIN EN 1992-2: Eurocode 2: Bemessung und
Konstruktion von Stahlbeton- und
Spannbetontragwerken - Teil 2: Betonbrücken -
Bemessungs- und Konstruktionsregeln;
Deutsche Fassung EN 1992-2:2005 + AC:2008,
Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin,
Dezember 2010, mit DIN EN 1992-2/NA, April
2013
- DIN FB 101: DIN-Fachbericht 101: Einwirkungen
auf Betonbrücken, Deutsches Institut für
Normung e.V. Berlin, März 2009
- FISCHER, O.; NIEDERMEIER, R.: Bewehrung und
Verstärkung von Betonbauteile mit
Kohlenstofffasern. Vortrag, Lehrstuhl für
Massivbau, Technische Universität München.
München, 2011
- HANKERS, C.: Spritzbeton für die Instandsetzung
und Verstärkung von Stahlbeton. Beton- und
Stahlbetonbau, Berlin, 2008, S.18-25
- HAVERESCH, K.: Verstärkung älterer
Spannbetonbrücken mit Koppelfugenrissen.
Beton- und Stahlbetonbau 95, 2000, Heft 8,
2000
- HAVERESCH, K.: Nachrechnen und Verstärken
älterer Spannbetonbrücken. Beton- und
Stahlbetonbau 106 (2011), Heft 2, 2011
- HEGGER, J.; HERBRAND, M.: Einfluss einer
nachträglichen externen Vorspannung in
Längsrichtung auf die Querkrafttragfähigkeit
bestehender Spannbetonbrücken. Schluss-
bericht FE 15.0498/2010/FRB, 2013 (a)
- HEGGER, J.; KARAKAS, A.: Verstärken von
Brücken und Ingenieurbauwerken: Analyse
möglicher Verstärkungsverfahren für Beton-
brücken im Expertensystem – Modul II.
Abschlussbericht FE 15.0478/2009/DRB,
Aachen, 2013 (b)
- IVÁNYI, G.; BUSCHMEYER, W.: Arbeitsfugen mit
Spanngliedkopplungen - Teil 1: Beurteilung des
Erhaltungszustandes, Forschungsbericht aus
dem Fachbereich Bauwesen, Heft 90, Essen,
Oktober 2001
- IVÁNYI, G.; BUSCHMEYER, W.: Arbeitsfugen mit
Spanngliedkopplungen - Teil 2:
Objektbezogene Schadenanalyse,
Instandsetzungsbedarf, Forschungsbericht aus
dem Fachbereich Bauwesen, Heft 92, Essen,
Februar 2002
- IVÁNYI, G.; FASTABEND, M.; LARDI, R.; PELLE,
K.: Statisch-konstruktive Verstärkung durch
zusätzliche Vorspannung. Bautechnik 64, S.
181-187, 1987

- KIND, T; FEISTKORN, S; TRELA C; WÖRSTMANN, J.: Impulsradar für schadensfreie Kernbohrungen an Spannbetonbrücken, Beton- und Stahlbetonbau 104, 2009, Heft 12, S. 876-881
- MIHALA, R.: Bauwerksverstärkung mit eingeschlitzten CFK-Lamellen in Beton, Zement + Beton 1/2008, 2008, S. 4 - 5
- NAUMANN, J.: Brückenertüchtigung jetzt - Ein wichtiger Beitrag zur Sicherung der Mobilität auf Bundesfernstraßen. Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V., Berlin, 2011
- NEUSER, J. U.: Zur Kraffteinleitung bei externer Vorspannung. Lehrstuhl und Institut für Massivbau, RWTH Aachen, Dissertation, 2003
- NOVÁK, B.; PELKE, E.; BOROS, V.; REINHARD, J.; BERGER, D.: Endverankerungen bei Ertüchtigung von Brücken mit externer Vorspannung. Beton- und Stahlbetonbau 110, Heft 2, 2015
- PETERS, H.W.: 1995 – 2013 Erfahrungen von Verstärkungen mit CFK-Lamellen und CF-Produkten im Bauwesen, Draft, Stuttgart, 12.2013
- PONZEL, U., GREBE, B., EISLER, R.: Verstärken von Spannbetonbrücken mit externen Spanngliedern. Beton- und Stahlbetonbau, Spezial, 2005, Berlin, S. 57-61
- RANDL, N.; KUNZ, J.: Biegeschubversuche an Stahlbetonbalken mit nachträglich eingemörtelter Querkraftbewehrung. Beton- und Stahlbetonbau 104, 2009, Heft 11, S. 728-736
- RÖDL GmbH: Verfahren und Vorrichtung zur Anbringung einer Zusatzbewehrung an einem armierten Betonbauteil; Deutsches Patent DE4333782C2, 21.10.1999
- ROESER, W.; KERKENI, N.: Ertüchtigung der beiden Eisenbahnbrücken A13. Beton- und Stahlbetonbau 105, 2010, Heft 5, S. 324-329
- ROMBACH, G.: Vor- und Nachteile der externen Spanngliedführung bei Betonbrücken. In: Festschrift zu Ehren von Prof. Valtinat (Hrsg.: Priebe J., Eberwein, U.), Hamburg, 2001, S. 433-440
- SCHNELLENBACH-HELD, M.; PEETERS, M.; SCHERBAUM, F.: Sachstand Verstärkungsverfahren – Verstärken von Betonbrücken im Bestand. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Brücken- und Ingenieurbau Heft B75, 2010
- SEIM, W.: Bewertung und Verstärkung von Stahlbetontragwerken. Ernst und Sohn, 2007
- STANDFUSS, F.: Neue Entwicklungen im Brückenbau. 8. Dresdner Brückenbausymposium 12. März 1998(a), Dresden, S. 27 – 52
- STANDFUSS, F.; ABEL, M.; HAVERESCH, K.: Erläuterungen zur Richtlinie für Betonbrücken mit externen Spanngliedern. Beton- und Stahlbetonbau 93 (1998), Heft 9, 1998(b), S. 264 – 274
- WELTER, R.: Verstärken mit CFK-Lamellen. Bautechnik 89 (2012), Heft 1, 2012
- WICKE, M.: Verbundlose Spannglieder im Brückenbau. 11. Dresdner Brückenbausymposium 2001. Planung, Bauausführung und Ertüchtigung von Massivbrücken. Dresden, März 2001
- ZECH, M.: Brückenüberbauten mit zusätzlicher externer Vorspannung - Kraffteinleitung über nachträglich anbetonierte Ankerblöcke, Dissertation, Universität Duisburg-Essen, 2005
- ZTV-ING: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Bundesanstalt für Straßenwesen, 2013

Anhang
Erfahrungssammlung
„Verstärken von Betonbrücken“

Vorwort zur Erfahrungssammlung

Infolge der steigenden Verkehrszahlen, vor allem im Bereich des Güterverkehrs, haben sich die Anforderungen an die Brückenbauwerke im Zuge der Bundesfernstraßen in den vergangenen Jahren deutlich erhöht. Diese Entwicklung wird sich laut aktueller Studien in den nächsten Jahren fortsetzen (NAUMANN, 2011; BMVBS, 2013). Zusätzlich wurden die Bemessungsgrundlagen und -ansätze der Einwirkungs- und Bemessungsnormen an neue Erkenntnisse angepasst. Hierdurch ergeben sich bei älteren Bestandsbrücken insbesondere folgende Problemfelder:

- Biegetragfähigkeit (Temperatur),
- Querkrafttragfähigkeit,
- Ermüdung in Verbindung mit der Problematik der Koppelfugen,
- Spannungsrissskorrosion (bei v ergüteten Spannstählen).

Eine Vielzahl von Bestandsbrücken wurde bereits verstärkt. In Anlehnung an die Schadensdokumentationen des BMVBS aus den Jahren 1982 und 1994 (BMV, 1982; BMV 1994) wurden repräsentative Verstärkungsmaßnahmen, die an Brücken in den letzten Jahren zur Steigerung der globalen oder lokalen Tragfähigkeit durchgeführt wurden, systematisch gesammelt und ausgewertet. Die Bewertung von Anwendbarkeit, Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit der Verstärkungstechniken im Rahmen der Erfahrungssammlung „Verstärken von Betonbrücken“ soll dazu beitragen, zukünftige Verstärkungen effektiver und wirtschaftlicher planen und umsetzen zu können.

Die Basis hierfür bildet eine Umfrage des BMVI bei den Straßenbauverwaltungen der Bundesländer und den mit Brückenverstärkungen betrauten Ingenieurbüros. Alle genannten Maßnahmen wurden als Erfolg bewertet.

Die in der Erfahrungssammlung vorgestellten Beispiele der einzelnen Verstärkungstechniken wurden folgendermaßen gruppiert:

1. Zusätzliche Vorspannung,
2. Querkraftverstärkung mit Stabspanngliedern oder Schublaschen aus Stahl,
3. Aufbeton mit Verdübelung,
4. Zusatzbewehrung in Nuten,
5. Aufgeklebte CFK-Lamellen,

6. In Schlitze eingeklebte CFK-Lamellen,
7. Sonderlösungen (vorgespannte CFK-Lamellen, aufgeklebte Stahllaschen, Querschnittsergänzungen mit Spritzbeton bzw. Beton und zusätzlicher Betonstahlbewehrung, Stahlkonstruktionen).

Jeder Anwendungsfall enthält einen kurzen Steckbrief der wichtigsten Bauwerksdaten mit allgemeinen Angaben zu Größe, Tragfähigkeit, Baujahr und Baukosten der Brücke, Angaben zur Konstruktion, den verwendeten Baustoffen, dem Baugrund und besonderen, für das Verstärkungserfordernis bedeutsamen Bauwerks- und Bauteilmerkmalen.

Bei den angegebenen Kosten für die Herstellung der Brückenbauwerke handelt es sich um die tatsächlichen Kosten zum Herstellungszeitpunkt. Eine Indizierung unter Zuhilfenahme der Baupreisindizes wurde nicht vorgenommen. Sofern die Herstellungskosten nur in DM bekannt waren, wurden diese mit dem Faktor 1/1,95583 in Euro umgerechnet.

Die Festigkeiten und Streckgrenzen der verwendeten Baustoffe wurden, soweit möglich, auf Grundlage der Nachrechnungsrichtlinie für Straßenbrücken umgerechnet. Für Stabdurchmesser $\varnothing \leq 18$ mm können für einige Stahlsorten erhöhte Streckgrenzen angesetzt werden. Dies wurde bei der Umrechnung der Streckgrenzen aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht gesondert aufgeführt.

Hinter den Bauwerksdaten folgen stichpunktartige Angaben zur Art der Verstärkung. Bei den Kosten der Verstärkungsmaßnahmen kann nicht ausgeschlossen werden, dass Anteile anderer Gewerke (z.B. für Änderung der Verkehrsführung) enthalten sind. Daher sind die Kosten der Verstärkungsmaßnahmen als Richtwert anzusehen.

Eine Bewertung des Verstärkungsbedarfs anhand der Zustandsnoten erscheint nicht sinnvoll und wird daher nicht durchgeführt, da neben den Kriterien der Standsicherheit und Dauerhaftigkeit auch die Verkehrssicherheit betrachtet wird. Die Bewertung des Verstärkungsbedarfs erfolgt aktuell auf Basis der Nachrechnungsrichtlinie.

Zur Dokumentation der Erfahrungen mit den einzelnen Verstärkungstechniken enthält jedes Beispiel Erläuterungen zu den Ursachen für den Verstärkungsbedarf, eine Beschreibung der Verstärkung und Folgerungen, die sich aus der Verstärkung oder dem vorgestellten Beispiel ergeben.

Diese Erläuterungen werden durch Bilder und Bauwerksskizzen ergänzt.

Sofern zwischen den Angaben im Bauwerksbuch, im Fragebogen und in weiteren Unterlagen Differenzen festgestellt wurden, wurde nach Rücksprache mit den entsprechenden Sachbearbeitern im Einzelfall entschieden. Auf eine namentliche Nennung der Bauwerke und der mit Entwurf, Ausführung, Prüfung und Erhaltung befassten Firmen, Dienststellen und Personen wurde aus Datenschutzgründen verzichtet.

Die fachliche Bearbeitung dieser Sammlung wurde durch das Institut für Massivbau der Universität Duisburg-Essen unter Leitung von Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Schnellenbach-Held und dem Lehrstuhl und Institut für Massivbau der RWTH Aachen unter Leitung von Univ.-Prof. Dr.-Ing. J. Hegger im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) durchgeführt. Besonderer Dank gilt den Straßenbauverwaltungen und den Ingenieurbüros, die die repräsentativen Anwendungsfälle und ergänzenden Unterlagen zur Verfügung gestellt haben.

Inhaltsübersicht

1 Zusätzliche Vorspannung

1.1	Hohlkastenquerschnitt mit zusätzlicher externer zentrischer Vorspannung zur Sicherstellung der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit.....	1
1.2	Hohlkastenquerschnitt mit zusätzlicher externer zentrischer Vorspannung zur Sicherstellung der Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit	11
1.3	Hohlkastenquerschnitt mit zusätzlicher externer gerader Vorspannung zur Wiederherstellung der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit - Ertüchtigung nach Durchtrennung von Spanngliedern.....	25
1.4	Notinstandsetzung eines Hohlkastenquerschnitts mittels zusätzlicher externer zentrischer Vorspannung und Querkraftverstärkung mit Stabspanngliedern an den Steginnenseiten	33
1.5	Notinstandsetzung eines Hohlkastenquerschnitts mittels zusätzlicher externer zentrischer Vorspannung und Querkraft- und Torsionsverstärkung mit Stabspanngliedern an den Stegaußen-seiten	43
1.6	Hohlkastenquerschnitt mit zusätzlicher interner, gerader Vorspannung mit nachträglichem Verbund in anbetonierten Balken	53
1.7	Hohlkastenquerschnitt mit zusätzlicher externer und interner polygonaler Vorspannung	57
1.8	Hohlkastenquerschnitt mit zusätzlicher externer polygonaler und interner parabelförmiger Vorspannung und Querkraftverstärkung mit Stabspanngliedern und Schublaschen zur Erweiterung der Brücke um eine 5. Fahrspur	65
1.9	Plattenbalken- / Trägerrostbrücke mit zusätzlicher externer polygonaler Vorspannung	75

2 Querkraftverstärkung mit Stabspanngliedern oder Schublaschen aus Stahl

2.1	Temporäre Querkraftverstärkung eines Hohlkastenquerschnitts mit Stabstahl B500	81
2.2	Temporäre Querkraftverstärkung eines Hohlkastenquerschnitts mit Stabspanngliedern	87
2.3	Querkraftverstärkung eines Hohlkastenquerschnitts mit Stabspanngliedern	95
2.4	Notinstandsetzung eines Hohlkastenquerschnitts mittels zusätzlicher externer zentrischer Vorspannung und Querkraftverstärkung mit Stabspanngliedern an den Steginnenseiten	99
2.5	Notinstandsetzung eines Hohlkastenquerschnitts mittels zusätzlicher externer zentrischer Vorspannung und Querkraft- und Torsionsverstärkung mit Stabspanngliedern an den Stegaußen-seiten	107
2.6	Hohlkastenquerschnitt mit zusätzlicher externer polygonaler und interner parabelförmiger Vorspannung und Querkraftverstärkung mit Stabspanngliedern und Schublaschen zur Erweiterung der Brücke um eine 5. Fahrspur	115

3 Aufbeton mit Verdübelung

3.1	Aufbeton mit Verdübelung im Zuge einer Gesamtinstandsetzung und zur Erhöhung der Brückenklasse.....	121
3.2	Aufbeton mit Verdübelung zur Erhöhung der Brückenklasse im Zuge einer Gesamtinstandsetzung eines Dreifeldträgers.....	129
3.3	Aufbeton mit Verdübelung im Rahmen einer temporären Instandsetzung einer Hohlkörperplatte.....	137

3.4	Querschnittsergänzung durch Aufbeton mit Verdübelung	143
4	Zusatzbewehrung in Nuten	
4.1	Verstärkung einer Koppelfuge durch Zusatzbewehrung in Nuten im Zuge einer Gesamtinstandsetzung	149
4.2	Verbreiterung der Fahrbahn unter Einsatz von Zusatzbewehrung in Nuten in den Endfeldern	155
4.3	Zusatzbewehrung in Nuten zur Verstärkung der Koppelfuge	159
5	Aufgeklebte CFK-Lamellen	
5.1	Traglasterrhöhung in Querrichtung mittels aufgeklebten CFK-Lamellen	165
5.2	Traglasterrhöhung in Querrichtung einer Hohlkörperplatte mit aufgeklebten CFK-Lamellen	171
5.3	Am Längsträger aufgeklebte CFK-Lamellen	177
5.4	Aufgeklebte CFK-Lamellen auf Rahmenriegel	181
6	In Schlitze eingeklebte CFK-Lamellen	
6.1	In Schlitze eingeklebte CFK-Lamellen am Überbau einer Plattenbrücke	187
6.2	Fahrbahnverbreiterung einer Hohlkastenbrücke unter Einsatz von in S chlitze eingeklebten CFK-Lamellen.....	193
6.3	Verstärkung der Fahrbahnplatte in Querrichtung einer Plattenbalkenbrücke mittels in Schlitze eingeklebter CFK-Lamellen	201
7	Sonderlösungen	
7.1	Vorgespannte CFK-Lamellen im Zuge einer umfassenden Instandsetzung.....	207
7.2	Aufgeklebte Stahllaschen mit Hinterschnittankern.....	213
7.3	Querschnittsergänzung durch Spritzbeton mit zusätzlicher Betonstahlbewehrung	217
7.4	Querschnittsergänzung mit Beton und zusätzlicher Betonstahlbewehrung: Bewehrungszulage in anbetonierten Stahlbetonbalken zur Verbesserung des Ankündigungsverhaltens bezüglich Spannungsrissskorrosion	223
7.5	Anordnung von Stahlträgern unter dem Überbau	229

Verstärkungstechnik:	1. Zusätzliche Vorspannung	Lfd. Nr.:	1.1	Blatt:	1
Verstärkung 1.1:		Hohlkastenquerschnitt mit zusätzlicher externer zentrischer Vorspannung zur Sicherstellung der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit			
<hr/>					
Bauwerksdaten					
<hr/>					
1. Allgemeine Angaben					
1.1	Einzel- und Gesamtstützweiten:	$30,0 + 6 \times 37,0 + 30,0 = 282,0$		m	
1.2	Zahl der Felder:	8			
1.3	Breite zwischen den Geländern:	$2 \times 14,75 = 29,5$		m	
1.4	Brückenfläche:	$2 \times 4160 = 8320$		m ²	
1.5	Bauwerkswinkel:	100		gon	
1.6	Brückenklasse (vor der Verstärkung):	BK 60 (DIN 1072)			
1.7	Brückenklasse (nach der Verstärkung):	BK 60 (DIN 1072) bzw. Einordnung nach Nachrechnung gemäß Nachrechnungsrichtlinie unter Berücksichtigung der Verstärkungsmaßnahmen: Nachweisklasse B für ein Ziellastniveau LM 1 (DIN Fachbericht 102)			
1.8	Baujahr:	1974 - 1977			
1.9	Baukosten insgesamt:	TBW 1: 3.170.500 DM \approx 1.621.051		€	
1.10	Baukosten bezogen auf Brückenfläche:	390		€/m ²	
2. Angaben zur Konstruktion					
2.1	Hauptbaustoff:	Spannbeton			
2.2	Bauwerkssystem in Längsrichtung:	Mehrfeldträger mit Durchlaufwirkung			
2.3	Bauwerkssystem in Querrichtung:	Hohlkasten			
2.4	System der Lagerung:	Festpunkt in Achse 3 (zwei Linienkipplager); in Achse 4 und 5 je zwei Rollenlager mit besonderer Kippvorrichtung; querfeste Lager in allen Achsen			
2.5	Pfeiler / Stützen:	Hohlquerschnitt			
2.6	Widerlager:	Kastenförmig			
2.7	Gründung:	Flachgründung			
2.8	Belag, Oberflächen- und Korrosionsschutz:	Splittmastixasphalt 0/8 S ($h = 40$ mm)			
3. Baustoffe					
3.1	Überbau:	B 450 (entspricht C30/37); Betonstahl BSt 42/50 RK (III K) ($f_{yk} = 420$ N/mm ²), Spannstahl längs in Platte oben und unten sowie quer in Fahrbahnplatte: Einzelspannglieder $\varnothing = 36$ mm ($f_{p0,2k} = 1100$ N/mm ² , $f_{pk} = 1350$ N/mm ²)			
Bund/Länder Dienstbesprechung Brücken- und Ingenieurbau			Erfahrungssammlung „Verstärkung von Betonbrücken“		1

- | | |
|-------------------------------|---|
| 3.2 Pfeiler / Stützen: | Bn 350 (entspricht C25/30); Betonstahl BSt 42/50 RK (III K) ($f_{yk} = 420 \text{ N/mm}^2$) |
| 3.3 Widerlager: | Bn 250 (entspricht C20/25); Betonstahl BSt 42/50 RK (III K) ($f_{yk} = 420 \text{ N/mm}^2$) |

4. Baugrund Widerlager auf Bodenaustausch aus Kiessandschüttung. Zul. Bodenpressung: Widerlager 350-450 kN/m², Pfeiler 400-650 kN/m²; Vorh. Bodenpressung: Widerlager 200-400 kN/m², Pfeiler 400-650 kN/m²

5. Besondere, für das Verstärkungserfordernis bedeutsame Bauwerks- und Bauteilmerkmale

Die Herstellung der Brücke erfolgte im Taktschiebeverfahren. Die zulässigen Spannstahlspannungsänderungen in den Koppelfugen waren nicht eingehalten.

Angaben zur Art der Verstärkung

- | | |
|--|---|
| 1. Kurzbeschreibung: | Zusätzliche Vorspannung |
| 2. Grund und Ursache bzw. Ziel der Verstärkung: | Sicherstellung der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit |
| 3. Verstärkte Bauteile: | Überbau |
| 4. Verstärkungsanwendung: | Global und lokal |
| 5. Kosten der Verstärkungsmaßnahme: | |
| - insgesamt: | TBW 1: 1.559.980 € |
| - bezogen auf die Brückenfläche: | 375 € |
| 6. Zeitraum der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme: | 2006 (6 Monate bzw. ca. 2 Jahre inkl. aller Untersuchungen) |
| 7.1 Nutzungseinschränkung während der Verstärkungsmaßnahme: | Temporäre Verkehrsführung |
| 7.2 Nutzungseinschränkung nach der Verstärkungsmaßnahme: | Keine |
| 8. Voraussichtliche Nutzungsdauer: | Dauerhaft |

Ursachen für den Verstärkungsbedarf

In der Beurteilung der Dauerhaftigkeit der vorge-spannten Bewehrung nach der Handlungsanweisung der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) für die im Taktschiebeverfahren hergestellte Brücke (Bilder 1 und 2) zeigte sich, dass die zulässigen Spannstahlspannungsänderungen in den Koppelfugen nicht eingehalten waren. Nach dem Flussdiagramm der Handlungsanweisung wurde eine Verstärkung erforderlich.

Bei der routinemäßigen Brückenhauptprüfung wurden u.a. zahlreiche Betonschadstellen, Hohlstellen, Abplatzungen mit freiliegender Bewehrung an den Über- und Unterbauten, Schäden

und Mängel an Kappen, Übergangskonstruktionen, Bauwerksentwässerung, Brückenausrüstung, etc., jedoch keine Schäden an den Spann-gliedern festgestellt.

Bei einer anschließenden detaillierten Schadensaufnahme wurde im Hohlkasteninneren an der Bodenplatte unter einer Betonabplatzung ein korrodiertes Längsspannglied mit abgerostetem Hüllrohr entdeckt (Bild 3). Auch an weiteren Stellen wurden Betonschäden im Bereich der Spannglieder festgestellt. Als Schadensursache wurde eindringendes Wasser vermutet.

Beschreibung der Verstärkung

Während der Ausführung der Instandsetzungsmaßnahmen wurden an denjenigen Stellen, an denen Stahlbetonschäden im Bereich von Spanngliedern festgestellt wurden, die entsprechenden Spannglieder freigelegt und deren Zustand genau untersucht. Auf Grundlage der Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden anschließend weitere Verstärkungsmaßnahmen auf Grundlage der Handlungsanweisung der BASt ausgearbeitet und ausgeführt.

Die geschädigten Überbauten und insbesondere deren Koppelfugen wurden durch den Einbau zusätzlicher externer Vorspannung verstärkt. In jedem Überbau wurden vier zentrische Spannglieder mit einer zulässigen Vorspannkraft von je 2160 kN ergänzt (Bild 4). Zur Verankerung der zusätzlichen Spannglieder wurde die bestehende Kammerwand mit Druckwasserstrahlen unter Erhalt der Bewehrung abgebrochen (Bild 5). Hierbei wurden die bestehenden Spannköpfe vorsichtig freigelegt, beschichtet und abgesandet. Anschließend wurde eine neue Kammerwand hergestellt, an der die zusätzlichen Spannglieder verankert wurden (Bilder 6, 7 und 8). Für die Durchführung der zusätzlichen Spannglieder durch die bestehenden Stützquerträger wurden Kernbohrungen erstellt, welche mit einem Oberflächenschutzsystem (OS-DII nach ZTV-ING) versehen wurden. Die Umlen-

kung der Spannglieder um den planmäßigen und unplanmäßigen Umlenkwinkel erfolgt über PE-Umlenkhalbschalen, wobei die Kontaktflächen zwischen dem PE-Hüllrohr der externen Vorspannung und der PE-Umlenkhalbschale mit Silikon-Gleitfett beschichtet wurden (Bild 9).

Neben der Verstärkung der Brücke mit zusätzlichen Spanngliedern wurde eine vollständige Instandsetzung der Bauwerke (Betoninstandsetzung, Erneuerung der kompletten Deckschicht, Außenkappenerneuerung inkl. Geländer und Schutzplanke, Erneuerung der Übergangskonstruktionen mit Endquerträger, etc.) durchgeführt. Vorhandene Risse an den Koppelfugen mit einer Rissbreite von mehr als 0,1 mm wurden mit Epoxidharz kraftschlüssig verfüllt. Zudem wurde an den Koppelfugen ein Oberflächenschutzsystem (OS-DII nach ZTV-ING) über eine Breite von jeweils 1 m aufgebracht. Zuletzt wurde als Grundlage für eine Mengenermittlung für den geplanten elektrochemischen Chloridentzug eine erweiterte, qualifizierte Zustandsuntersuchung der Hohlkasten-Bodenplatte durchgeführt. Diese erfolgte vorwiegend mit zerstörungsfreien Messungen (Ruhepotential, Oberflächenwiderstand, Betonüberdeckung). Auf Grundlage der Ergebnisse wurde schließlich an ausgewählten Stellen ein elektrochemischer Chloridentzug durchgeführt.

Folgerungen

Durch die Instandsetzungsmaßnahme wurden die festgestellten Schäden und die erkennbaren Schadensursachen beseitigt und die Koppelfu-

gen verstärkt. Hierdurch wurden die Überbauten insgesamt hinsichtlich Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit aufgewertet.

Bilder und Bauwerksskizzen

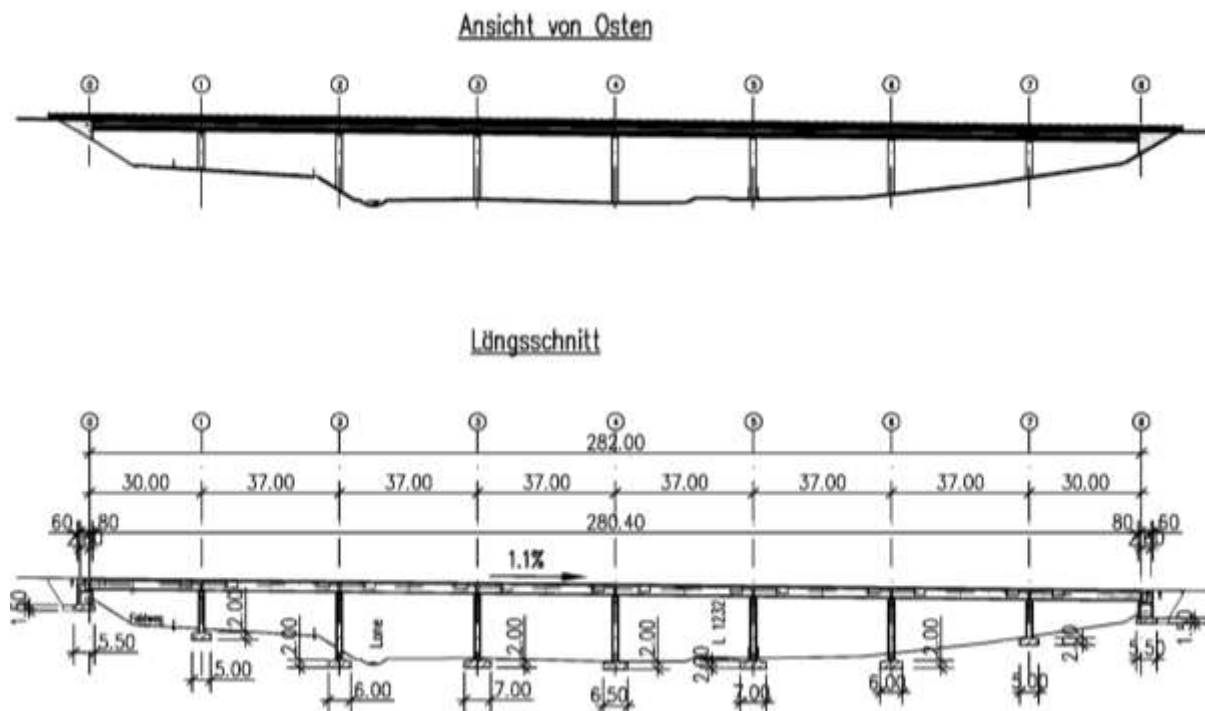


Bild 1: Längsschnitt und Ansicht



Bild 2: Übersichtsfoto des Brückenbauwerks



Bild 3: Betonabplatzung und korrodiertes Spannglied

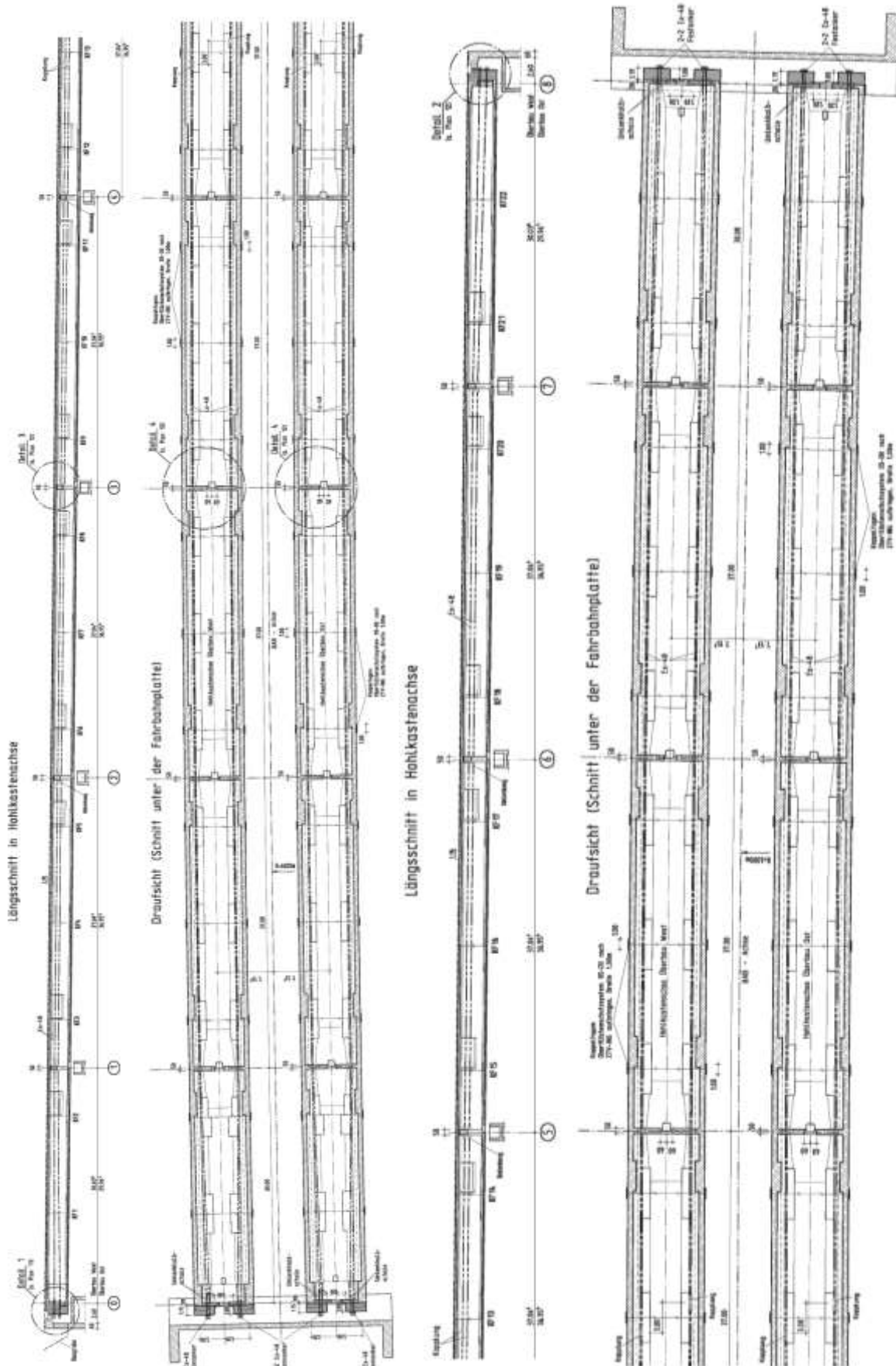


Bild 4: Längsschnitt und Draufsicht von beiden TBW (Entwurfsplanung)

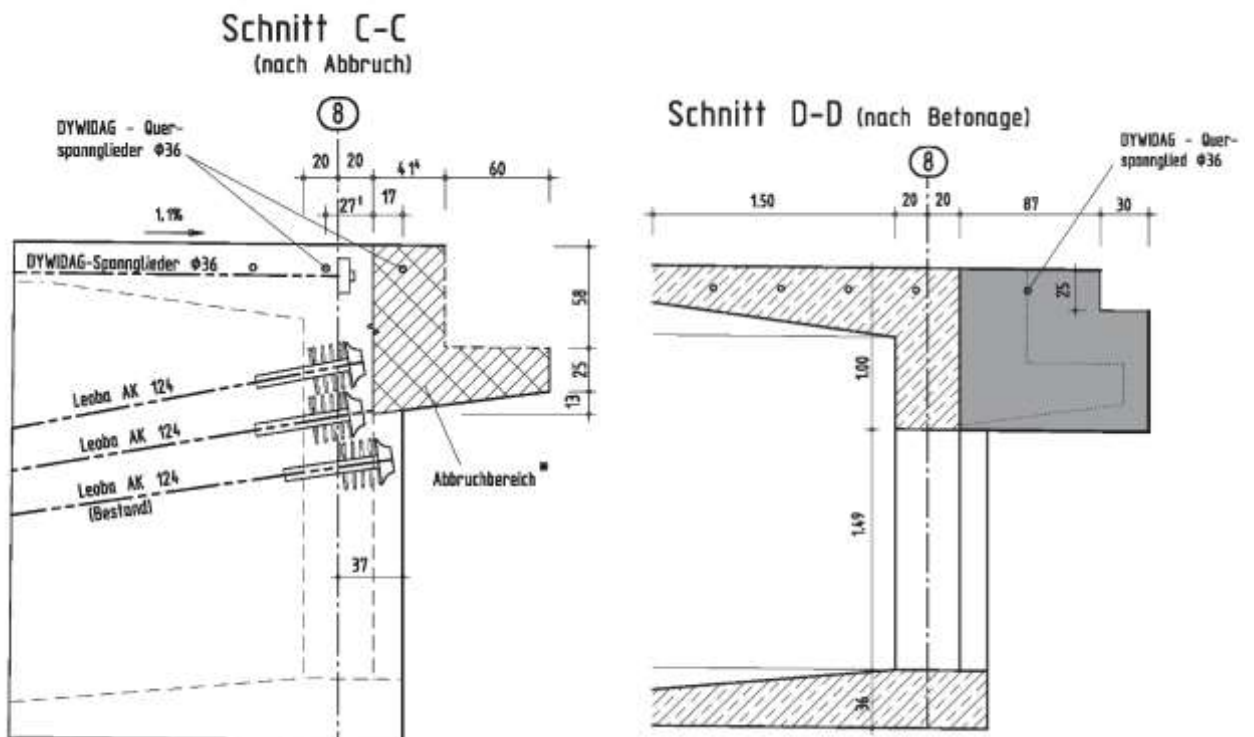
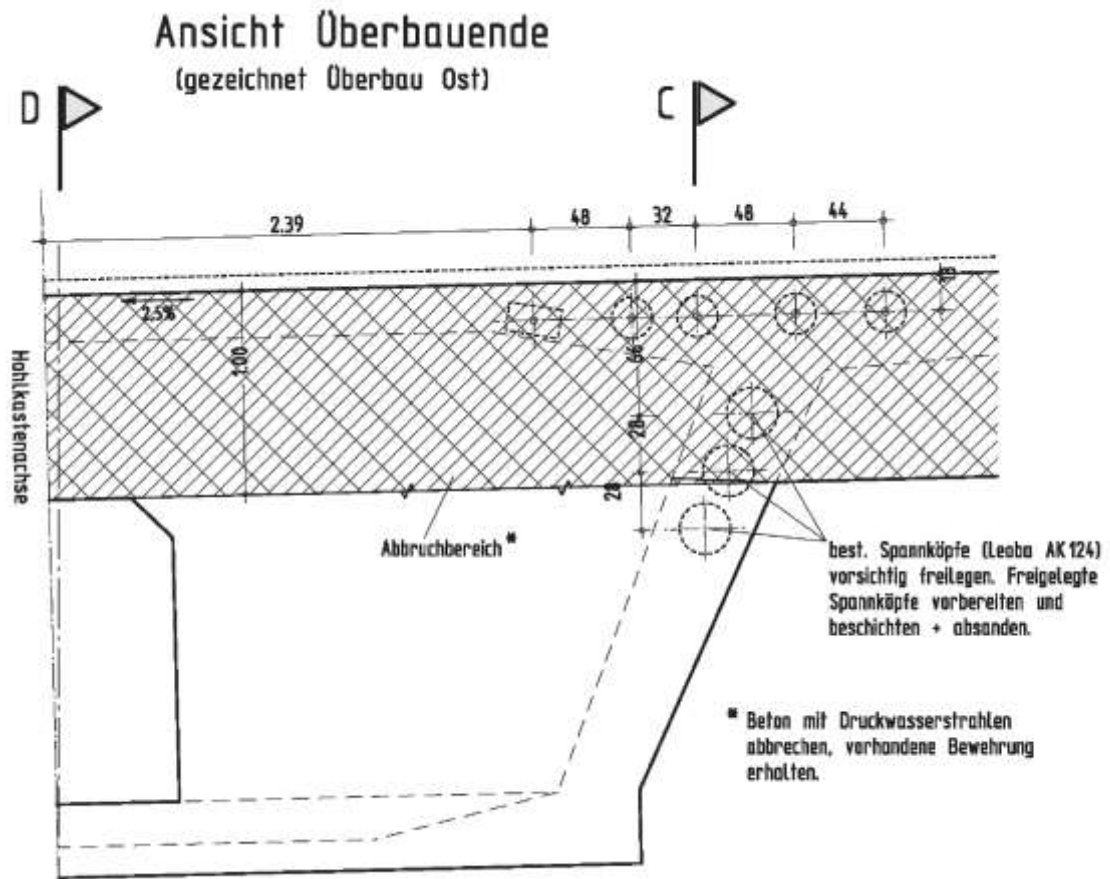


Bild 5: Ansicht Überbauende und Querschnitte C-C und D-D durch Enquerträger nach Abbruch und nach Betonage (Entwurfsplanung)

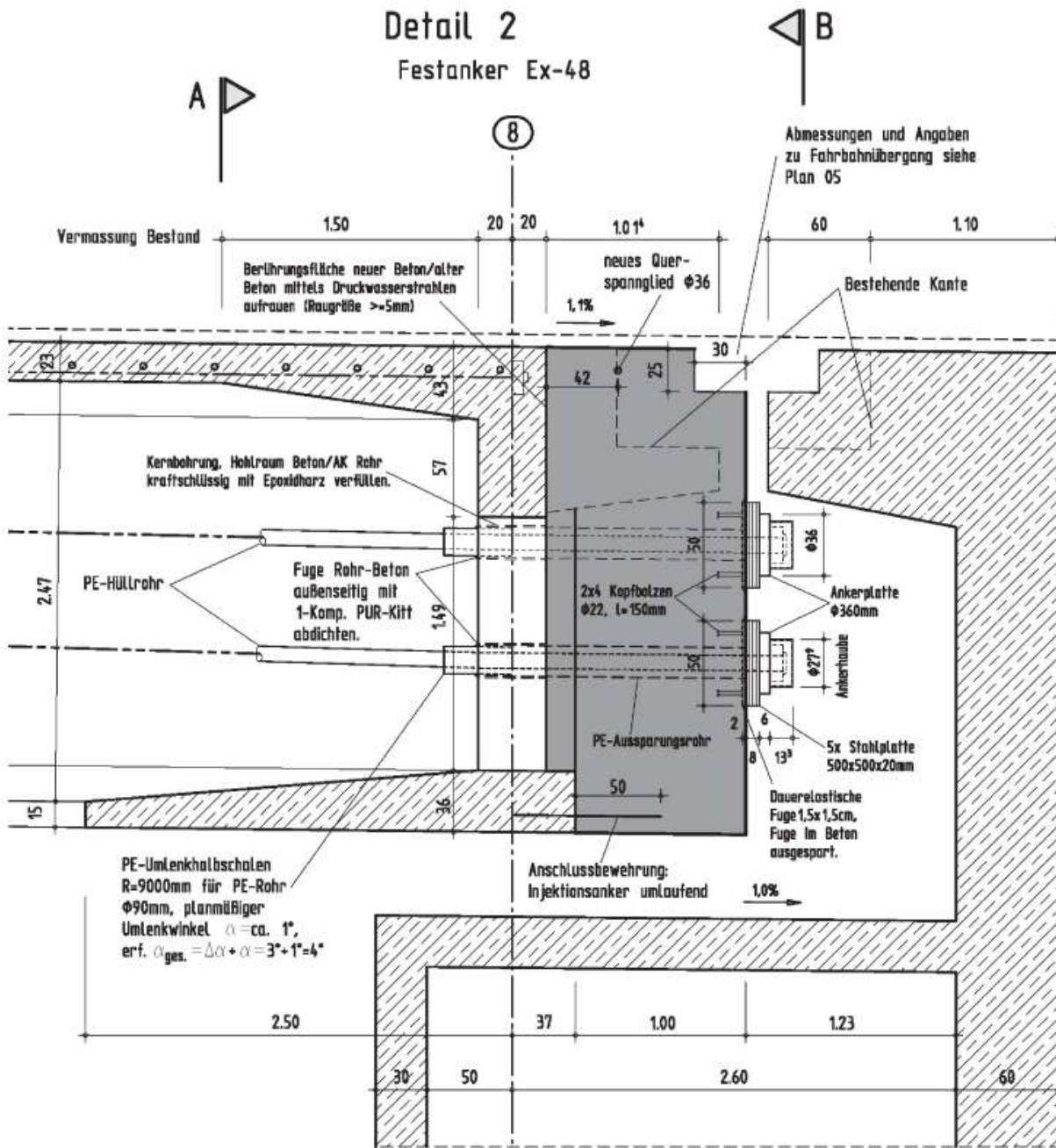


Bild 6: Detail der Endverankerung (Entwurfsplanung)

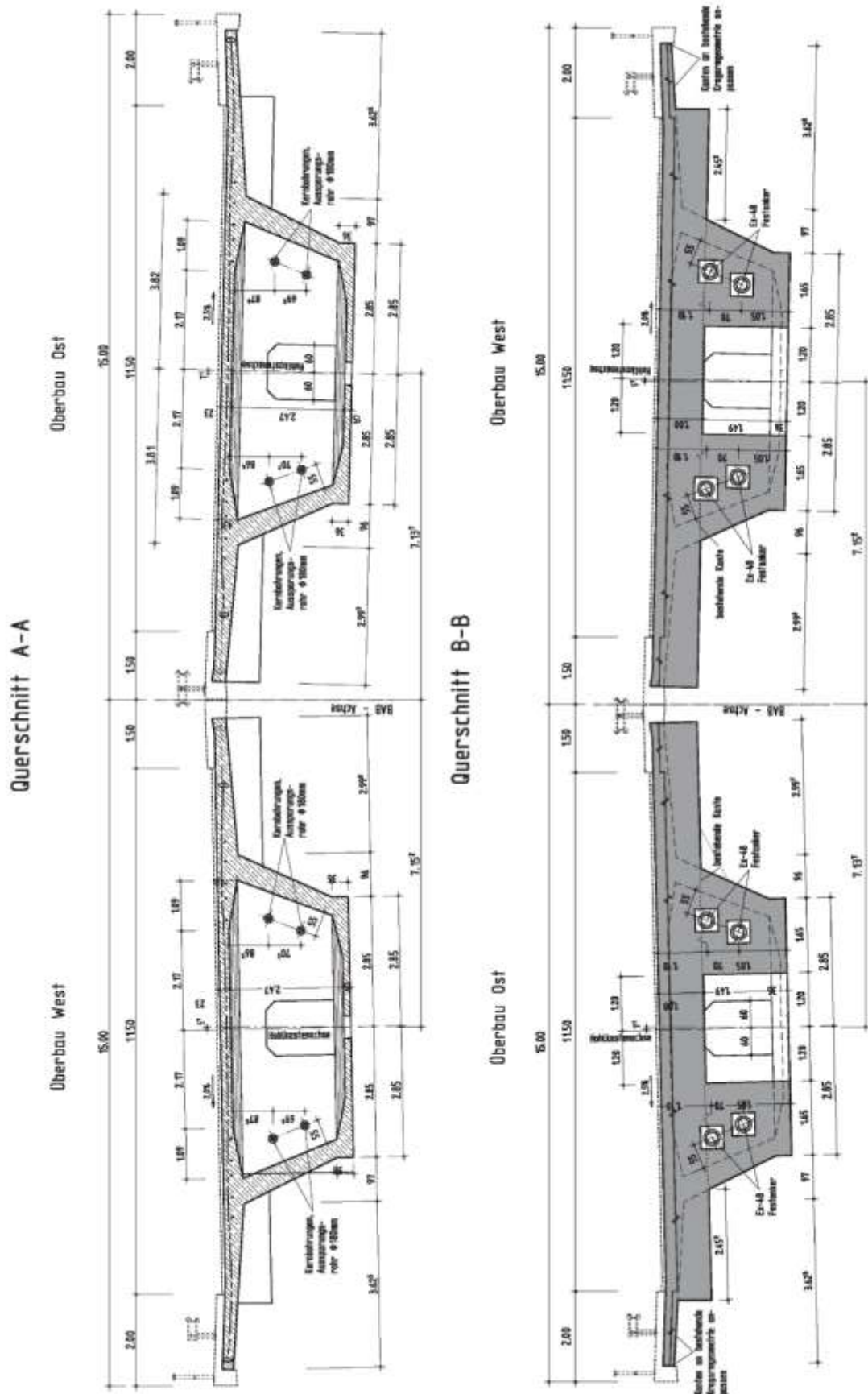


Bild 7: Querschnitte A-A und B-B (Schnittführung siehe Bild 6, Entwurfsplanung)



Bild 8: Endverankerung der externen Spannglieder (Ausführung)

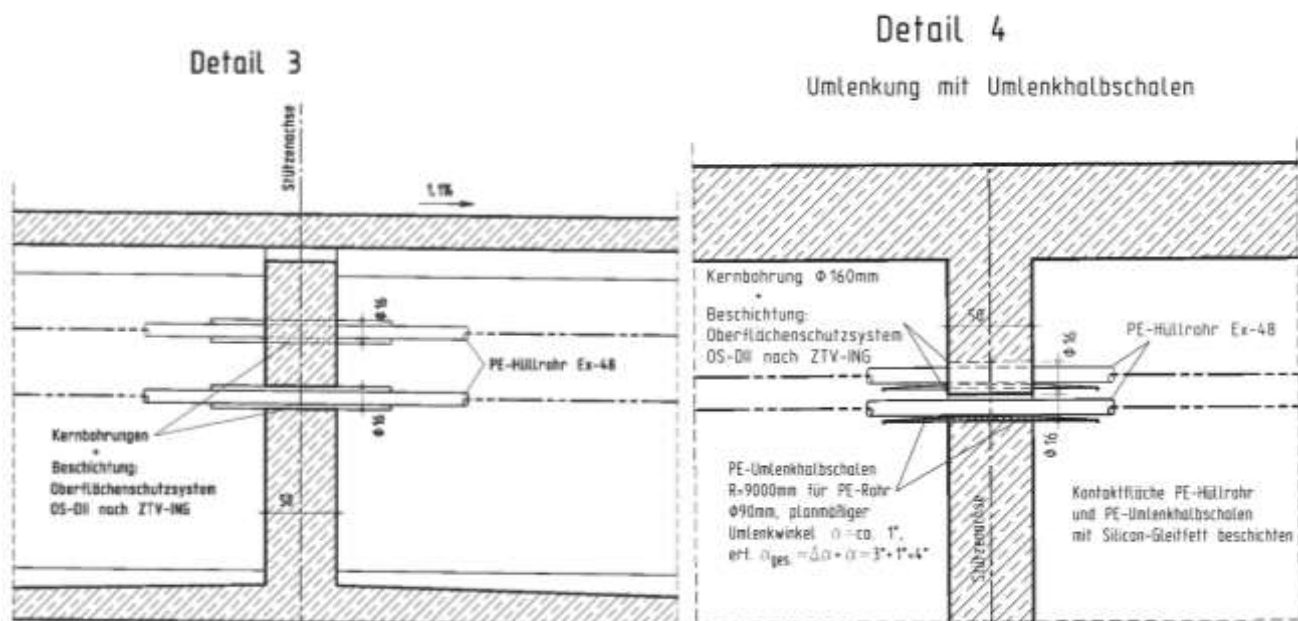


Bild 9: Detail 3 und 4 der Spanngliedumlenkung an einer Innenstütze in Längsschnitt und Draufsicht (Entwurfsplanung)

Verstärkung 1.2: Hohlkastenquerschnitt mit zusätzlicher externer zentrischer Vorspannung zur Sicherstellung der Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit

Bauwerksdaten

1. Allgemeine Angaben

1.1 Einzel- und Gesamtstützweiten:	$36 + 4 \times 42 + 36 = 240$	m
1.2 Zahl der Felder:	6	
1.3 Breite zwischen den Geländern:	$2 \times 14,75 = 29,50$	m
1.4 Brückenfläche:	$2 \times 3540 = 7080$	m ²
1.5 Bauwerkswinkel:	100	gon
1.6 Brückenklasse (vor der Verstärkung):	BK 60 (DIN 1072)	
1.7 Brückenklasse (nach der Verstärkung):	BK 60 (DIN 1072) bzw. Einordnung nach Nachrechnung gemäß Nachrechnungsrichtlinie unter Berücksichtigung der Verstärkungsmaßnahmen: Nachweisklasse B für ein Ziellastniveau LM 1 (DIN Fachbericht 102)	
1.8 Baujahr:	1975 - 1977	
1.9 Baukosten insgesamt:	TBW 1: 3.000.000 DM \approx 1.533.876	€
1.10 Baukosten bezogen auf Brückenfläche:	433	€/m ²

2. Angaben zur Konstruktion

2.1 Hauptbaustoff:	Spannbeton
2.2 Bauwerkssystem in Längsrichtung:	Mehrfeldträger mit Durchlaufwirkung
2.3 Bauwerkssystem in Querrichtung:	Hohlkasten
2.4 System der Lagerung:	Festpunkt (zwei Linienkipplager) auf einem Widerlager; am anderen Widerlager längsverschiebliche Lager (Gleitlager mit Topflager); auf allen Stützen Rollenlager; querfeste Lager in allen Achsen
2.5 Pfeiler / Stützen:	Hohlquerschnitt
2.6 Widerlager:	Kastenförmig
2.7 Gründung:	Flachgründung
2.8 Belag, Oberflächen- und Korrosionsschutz:	Einlagige Bitumendichtungsbahn, Gussasphalt, am Mittelkappenbereich zusätzlich Splittmastix

3. Baustoffe

- 3.1 Überbau:** B 450 (entspricht C30/37); Betonstahl BSt 42/50 RK (IIIK) ($f_{yk} = 420 \text{ N/mm}^2$); interne Längsvorspannung exzentrisch (entsprechend Momentenverlauf) und interne Quervorspannung ($f_{p0,2k} = 1450 \text{ N/mm}^2$, $f_{pk} = 1600 \text{ N/mm}^2$)
- 3.2 Pfeiler / Stützen:** Bn 350 (entspricht C25/30); Pfeilerkopf B 450 (entspricht C30/37); Betonstahl BSt 42/50 RK (IIIK) ($f_{yk} = 420 \text{ N/mm}^2$)
- 3.3 Widerlager:** Bn 250 (entspricht C20/25); Betonstahl BSt 42/50 RK (IIIK) ($f_{yk} = 420 \text{ N/mm}^2$)

4. Baugrund

Zul. Bodenpressung: zent. 400 kN/m^2 , Kante 550 kN/m^2 ; Max. vorh. Bodenpressung: zent. $200\text{-}340 \text{ kN/m}^2$, Kante $400\text{-}550 \text{ kN/m}^2$

5. Besondere, für das Verstärkungserfordernis bedeutsame Bauwerks- und Bauteilmerkmale

Neben einem insgesamt schlechten baulichen Zustand wurden Schäden an zentrischen Spanngliedern in der Bodenplatte festgestellt.

Angaben zur Art der Verstärkung

- | | |
|--|---|
| 1. Kurzbeschreibung: | Zusätzliche Vorspannung (extern) |
| 2. Grund und Ursache bzw. Ziel der Verstärkung: | Schäden an vorhandenen Spanngliedern in der Bodenplatte |
| 3. Verstärkte Bauteile: | Überbau |
| 4. Verstärkungsanwendung: | Global |
| 5. Kosten der Verstärkungsmaßnahme: | |
| - insgesamt: | $2.506.630 \text{ €}$ (beide TBW) |
| - bezogen auf die Brückenfläche: | 354 €/m^2 |
| 6. Zeitraum der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme: | 2004 - 2005 (17,5 Monate) |
| 7.1 Nutzungseinschränkung während der Verstärkungsmaßnahme: | Temporäre Verkehrsführung |
| 7.2 Nutzungseinschränkung nach der Verstärkungsmaßnahme: | Keine |
| 8. Voraussichtliche Nutzungsdauer: | Dauerhaft |

Ursachen für den Verstärkungsbedarf

Bei einer Beurteilung der Dauerhaftigkeit nach der Handlungsanweisung der BAST zeigte sich für die im Taktschiebeverfahren hergestellte Brücke (Bilder 1 und 2), dass die zulässigen Spannstahlspannungsänderungen in den Koppelfugen nicht eingehalten waren und nach dem Flussdiagramm der Handlungsanweisung eine Verstärkung erforderlich wurde.

Bei der routinemäßigen Brückenhauptprüfung wurden neben zahlreichen Betonschadstellen, Hohlstellen, Abplatzungen mit freiliegender Bewehrung an den Über- und Unterbauten (Bild 3), Schäden und Mängeln an Kappen, Übergangskonstruktionen, Bauwerksentwässerung, Brückenausrüstung, etc. am Teilbauwerk 2 auch zwei Schäden an den in der Bodenplatte verlegten zentrischen Spanngliedern festgestellt (Bild 4). Die betreffenden Stellen wurden weiter

freigelegt, sodass erkennbar wurde, dass an der 1. Schadstelle die Spanndrähte stark korrodiert waren und insgesamt sechs Drähte der drei Spannglieder mit je zwölf Spanndrähten vollständig durchgetrennt waren. An der 2. Schadstelle waren die Spanndrähte teilweise stark korrodiert.

Auf Grundlage der geprüften und freigegebenen Berechnung von 1977 wurde eine statische Beurteilung der Tragfähigkeit durchgeführt. Unter der Annahme, dass 50 % der Spannglieder in der Bodenplatte ausfallen, wurde auf der Grundlage der alten Schnittkraftermittlung nachgewiesen, dass die erforderliche Tragfähigkeit mit einer Sicherheit von 1,75 in den Mittelfeldern gegeben ist. In den Endfeldern war die erforderliche Sicherheit im Grenzzustand der Tragfähigkeit mit 1,63 geringfügig unterschritten.

Beschreibung der Verstärkung

Die geschädigten Überbauten und insbesondere deren Koppelfugen wurden durch den Einbau zusätzlicher externer Vorspannung verstärkt. In jedem Überbau wurden vier (bzw. zwischen den Achsen 3 und 4 sechs) zentrische Spannglieder ergänzt (Bilder 5 bis 8). Zur Endverankerung der zusätzlichen Spannglieder wurden zusätzliche Endquerträger in den Hohlkästen eingebaut (Bilder 9 und 13). Hierzu wurde die Kontaktfläche im Bestandsbauwerk durch HDW-Strahlen profiliert, wobei jede Nut eine Tiefe von ca. 20 mm aufwies. Ferner wurden Öffnungen in der Fahrbahnplatte zum Einbringen und Verdichten des Betons hergestellt, die nach der Betonage unter Erneuerung der Abdichtung wieder geschlossen wurden. Zusätzlich wurden in den Endquerträgern jeweils zwölf vertikale Einzelspannglieder ohne Verbund eingebaut, die über Stahlplatten in der Fahrbahn- und Bodenplatte verankert wurden (Bilder 10 und 11). Die Führung der Längspannglieder in den Endquerträgern erfolgt durch ein PE-Aussparungsrohr und über PE-Umlenkhalbschalen.

Zwischen den Achsen 3 und 4 wurden zwei zusätzliche Spannglieder eingebaut, die in zusätzlichen Fahrbahnplattenträgern verankert wurden (Bild 12). Hierzu wurde die Kontaktfläche durch HDW-Strahlen bis zu einer Rautiefe von 3 mm aufgeraut. Analog zur Erstellung der Endquerträger wurden Öffnungen in der Fahrbahnplatte zum Einbringen und Verdichten des Betons hergestellt, die nach der Betonage wieder geschlossen wurden. Die Fahrbahnplattenträger wurden mit jeweils zwei Einzelspanngliedern horizontal in Brückenquerrichtung vorgespannt, wobei die seitliche Verankerung anschließend in Spritzbeton eingebettet wurde (Bild 12).

Für die Durchführung der zusätzlichen Spannglieder durch die bestehenden Stützquerträger wurden Kernbohrungen erstellt, die mit einer Beschichtung versehen wurden. Die Umlenkung der Spannglieder erfolgt über PE-Umlenkhalbschalen, wobei die Kontaktflächen zwischen dem PE-Hüllrohr der externen Vorspannung und der PE-Umlenkhalbschale mit Silikon-Gleitfett beschichtet wurden (Bilder 14 und 15).

Folgerungen

Durch die Instandsetzungsmaßnahme wurden die festgestellten Schäden und die erkennbaren Schadensursachen beseitigt und die Koppelfu-

gen verstärkt. Hierdurch wurden die Überbauten insgesamt hinsichtlich ihrer Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit aufgewertet.

Bilder und Bauwerksskizzen



Bild 1: Übersicht in Längsschnitt (Entwurfsplanung)



Bild 2: Übersichtsfoto des Brückenbauwerks



Bild 3: Betonabplatzungen



Bild 4: Geschädigtes Spannglied

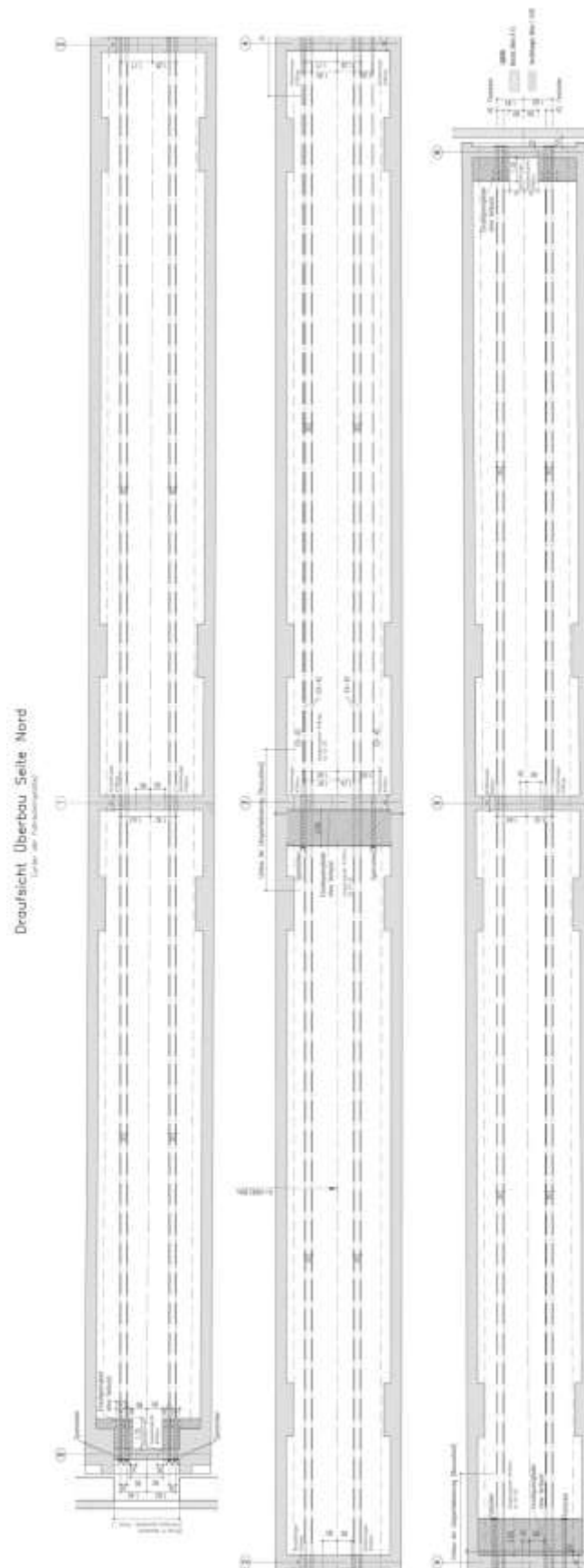


Bild 5: Übersicht Verstärkung von TBW 2 in der Draufsicht (Entwurfsplanung)

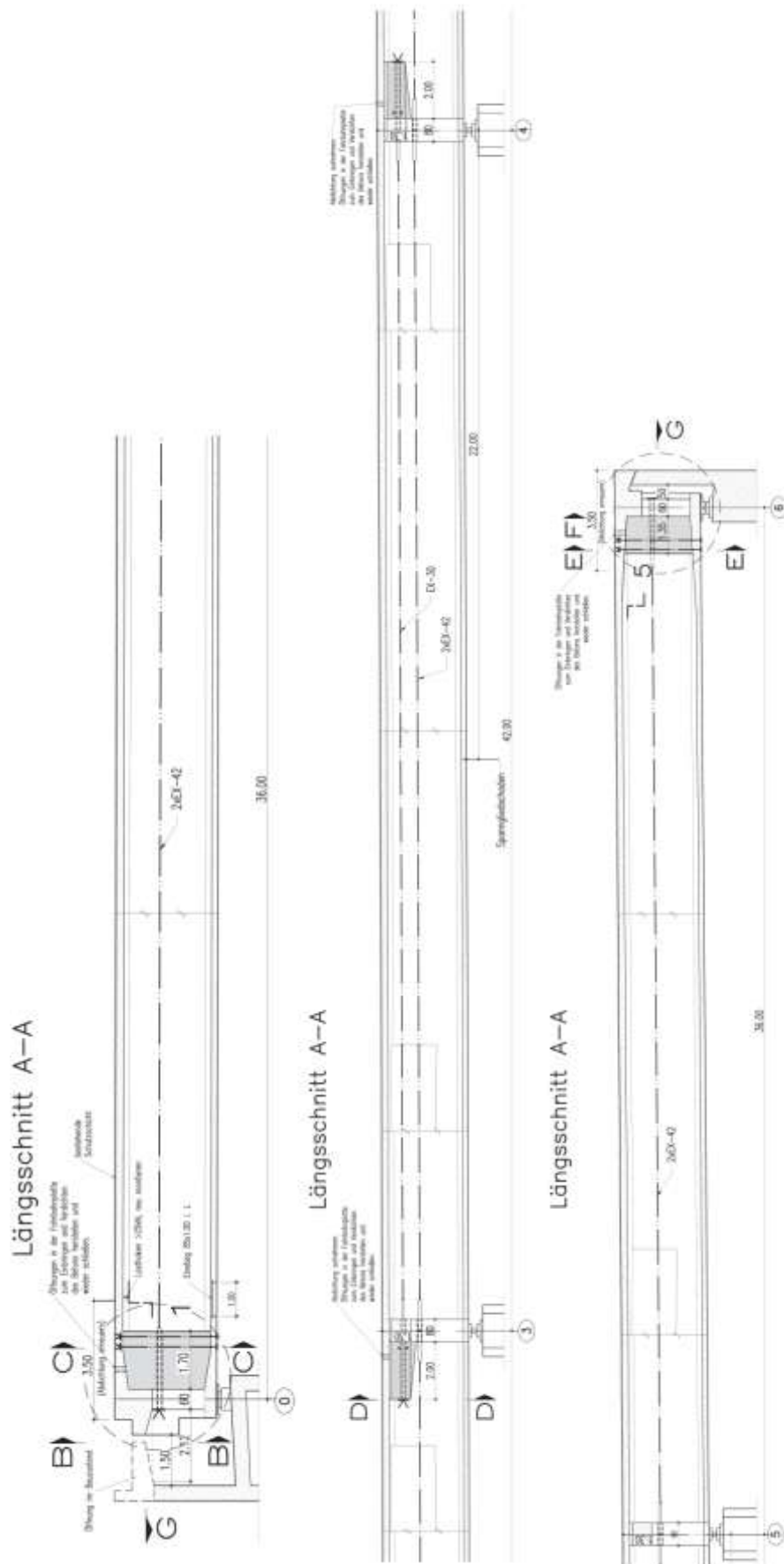
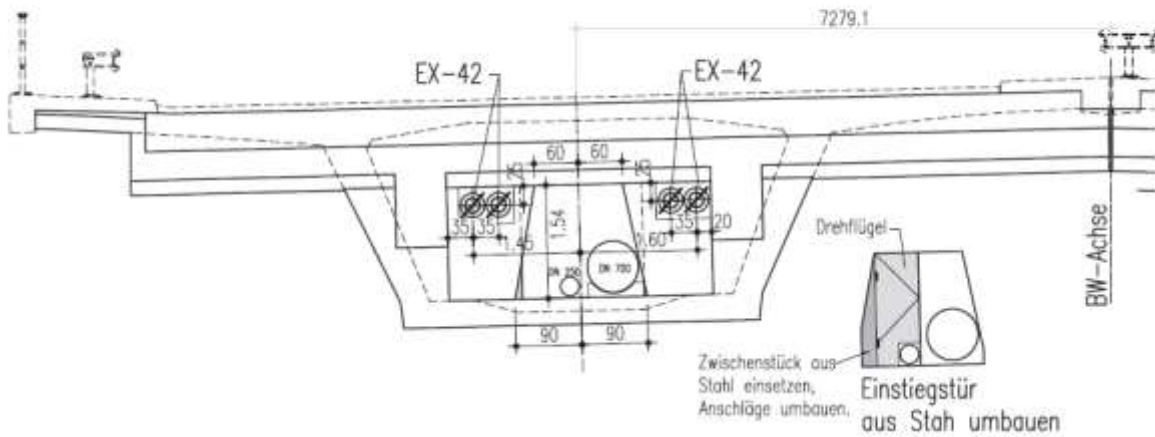
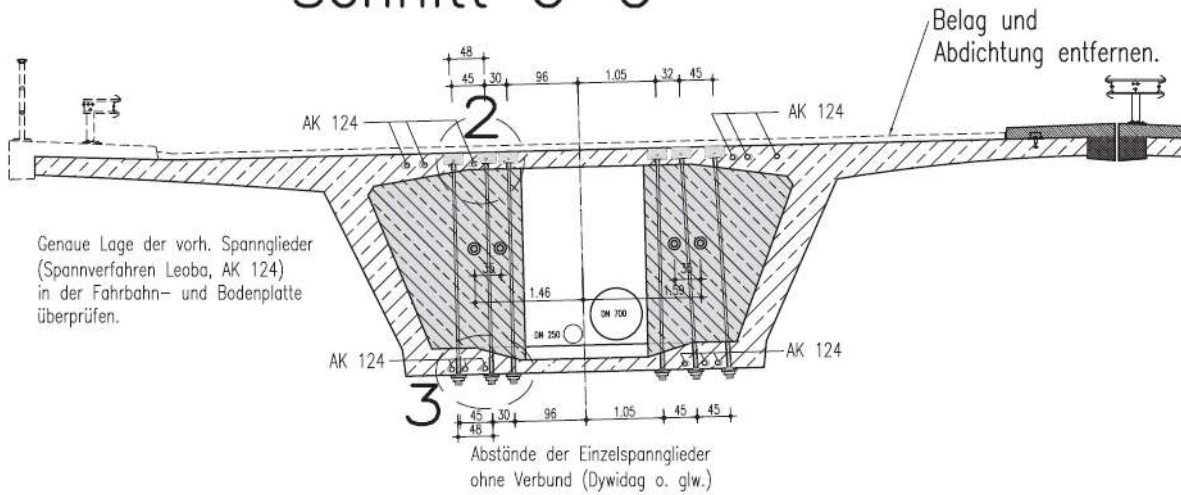


Bild 6: Detaillierter Längsschnitt A-A (Entwurfsplanung)

Schnitt B-B



Schnitt C-C



Schnitt D-D

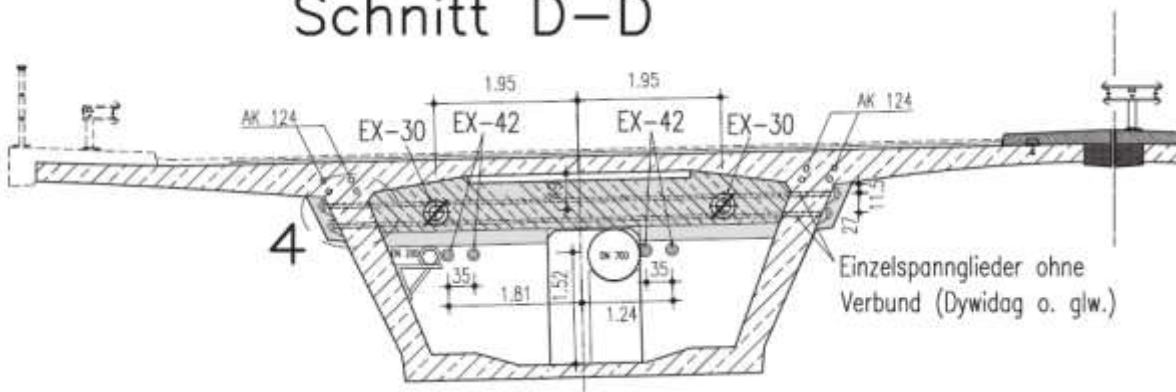
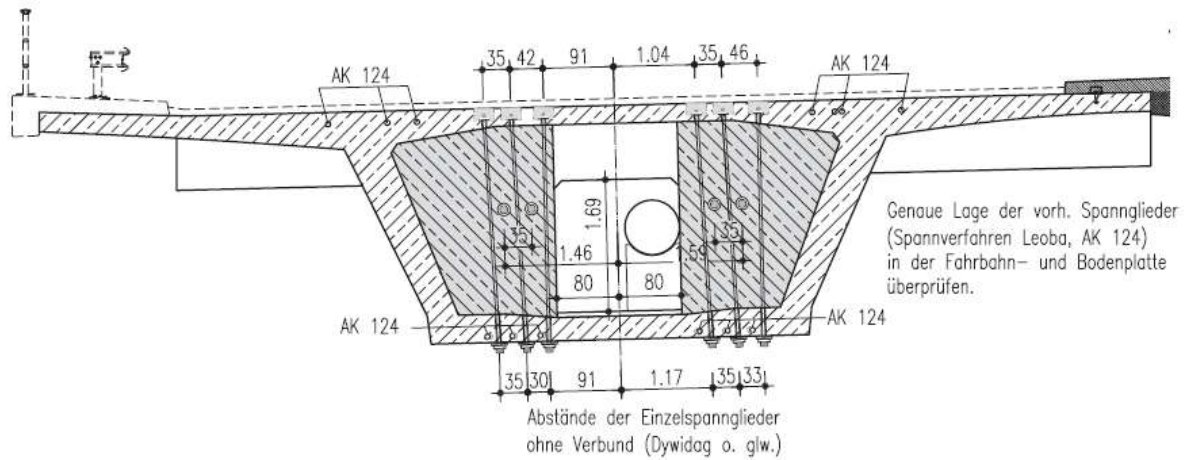


Bild 7: Querschnitte B-B, C-C und D-D (Entwurfsplanung)

Schnitt E-E



Schnitt F-F

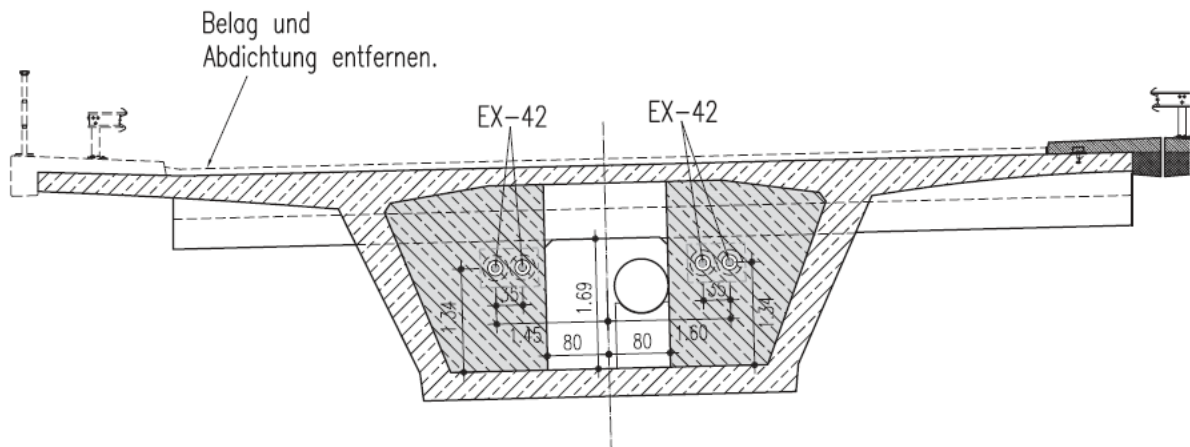


Bild 8: Querschnitte E-E und F-F (Entwurfsplanung)

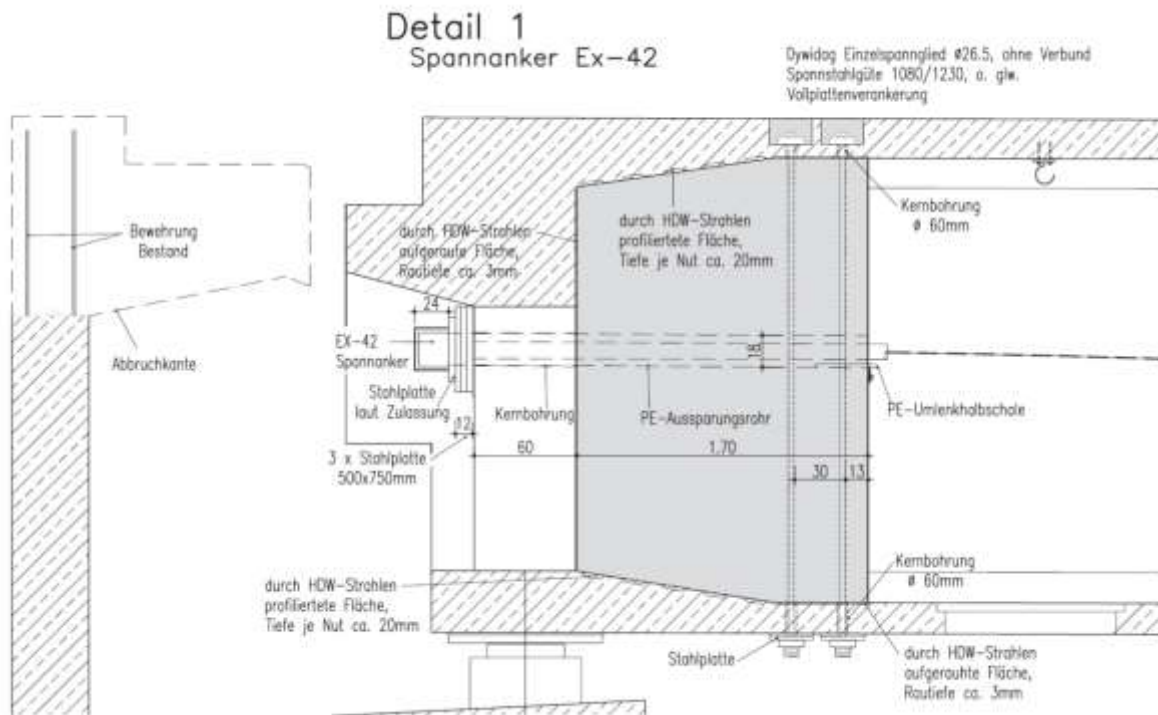


Bild 9: Detail 1: Endverankerung der zusätzlichen Spannglieder im Endquerträger (Entwurfsplanung)

Detail 2

Spannanker Dywidag Einzelspannglieder

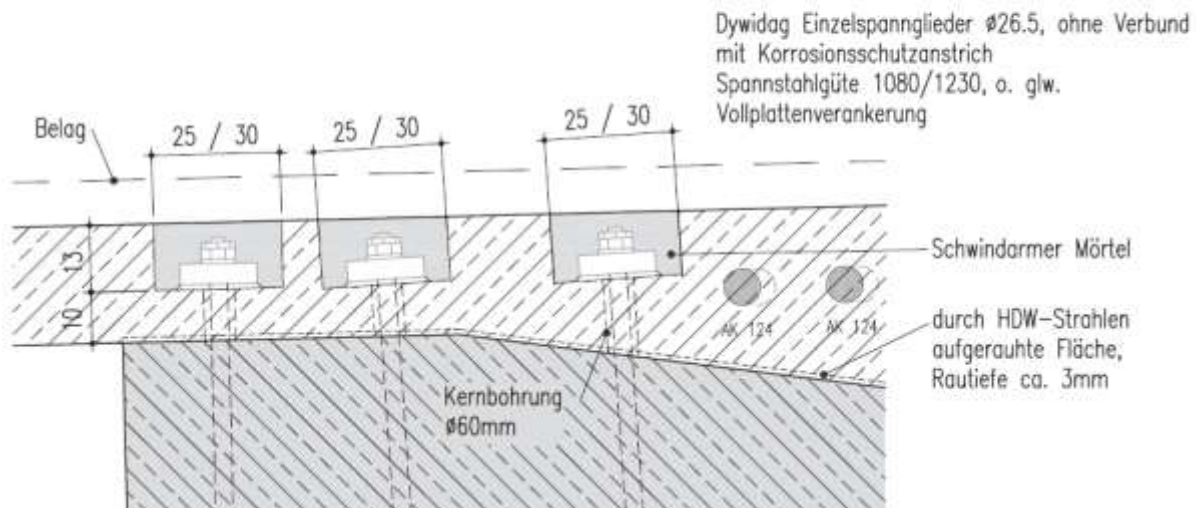


Bild 10: Detail 2: Verankerung der Einzelspannglieder in Schnitt C-C am Endquerträger in der Fahrbahnplatte (Entwurfsplanung)

Detail 3

Festanker Dywidag Einzelspannglieder

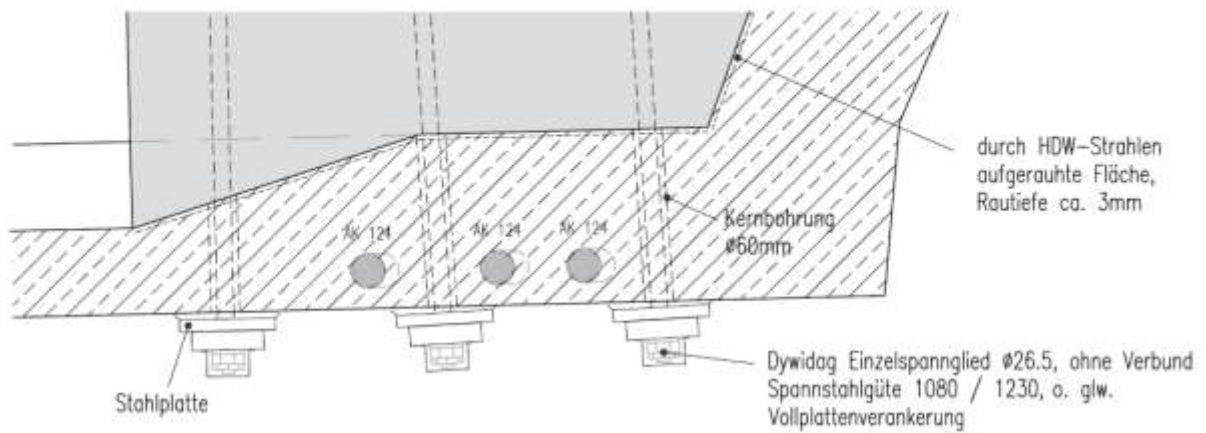


Bild 11: Detail 3: Verankerung der Einzelspannglieder in Schnitt C-C am Endquerträger an der Bodenplatte (Entwurfsplanung)

Detail 4

Spannanker Dywidag Einzelspannglieder

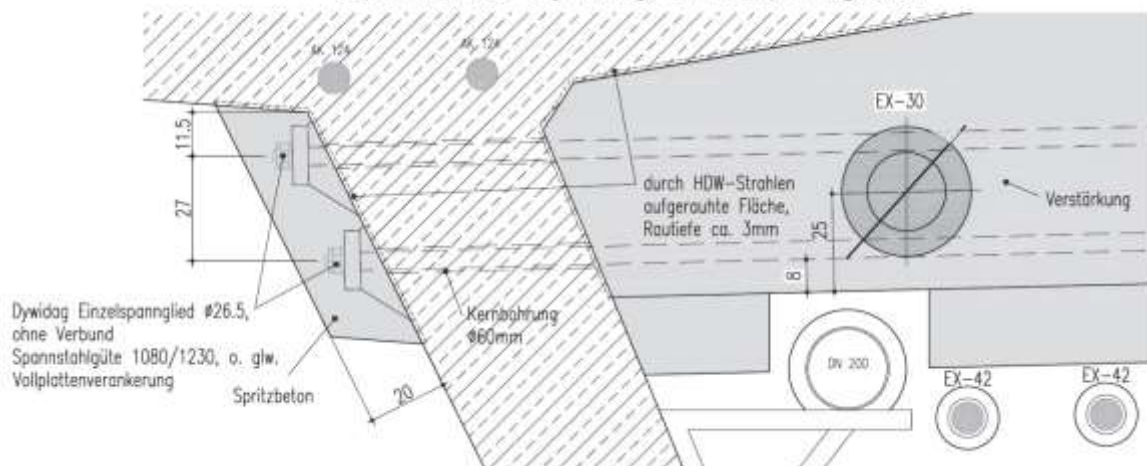


Bild 12: Detail 4: Verankerung der zusätzlichen Spannglieder in Schnitt D-D am Fahrbahnplattenträger an Achse 3 (Entwurfsplanung)

Detail 5

Festanker Ex-42

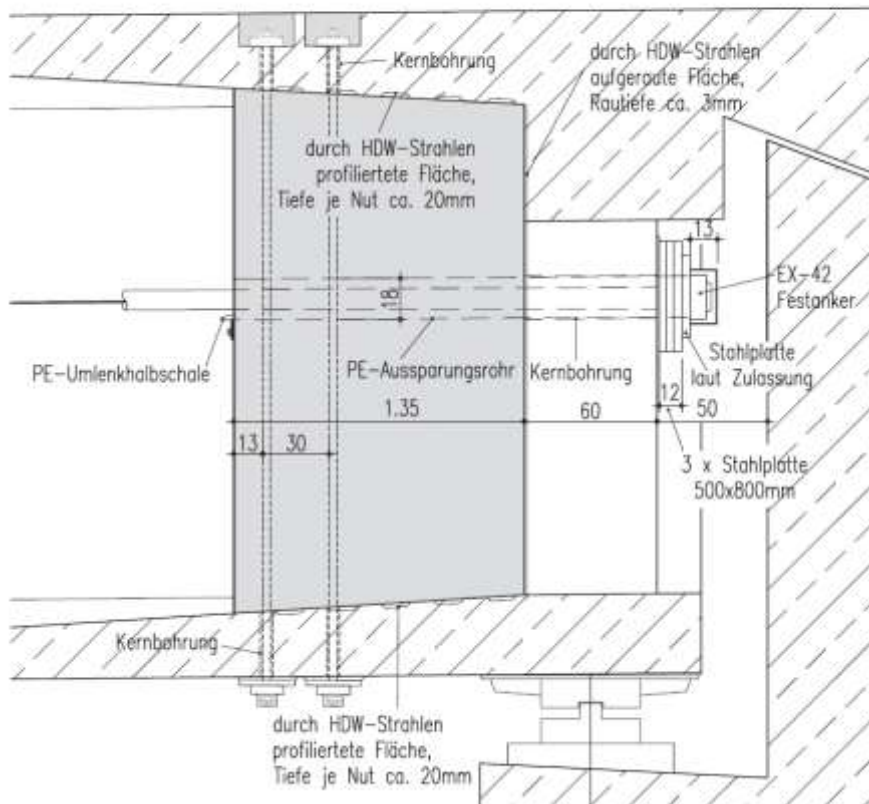


Bild 13: Detail 5: Endverankerung der zusätzlichen Spannglieder im Endquerträger (Entwurfsplanung)

Detail 6

Umlenkung mit Umlenkhalbschalen

(Umlenkhalbschale aus PE)

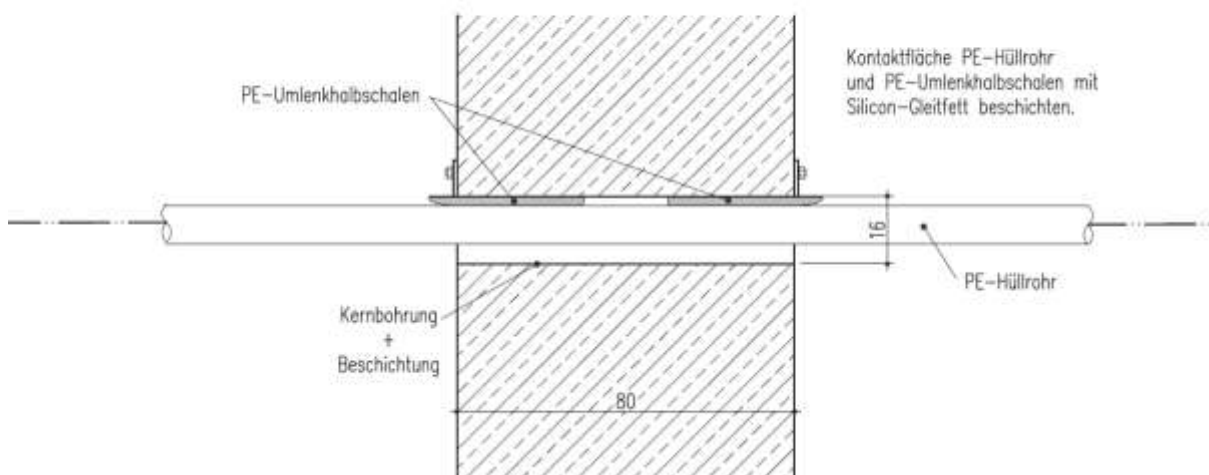


Bild 14: Detail 6: Umlenkung mit Umlenkhalbschalen aus PE (Entwurfsplanung)



Bild 15: Externe Vorspannung (Ausführung)

Verstärkung 1.3: **Hohlkastenquerschnitt mit zusätzlicher externer gerader Vorspannung zur Wiederherstellung der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit - Ertüchtigung nach Durchtrennung von Spanngliedern**

Bauwerksdaten

1. Allgemeine Angaben

1.1 Einzel- und Gesamtstützweiten:	$41,0 + 2 \times 54,0 + 35,0 = 184,0$	m
1.2 Zahl der Felder:	4	
1.3 Breite zwischen den Geländern:	$19,5 + 19,25 = 38,75$	m
1.4 Brückenfläche:	$3588 + 3542 = 7130$	m ²
1.5 Bauwerkswinkel:	100	gon
1.6 Brückenklasse (vor der Verstärkung):	BK 60/30 (DIN 1072)	
1.7 Brückenklasse (nach der Verstärkung):	BK 60/30 (DIN 1072)	
1.8 Baujahr:	1978 - 1982	
1.9 Baukosten insgesamt:	11.243.000 DM \cong 5.748.455	€
1.10 Baukosten bezogen auf Brückenfläche:	806	€/m ²

2. Angaben zur Konstruktion

2.1 Hauptbaustoff:	Spannbeton
2.2 Bauwerkssystem in Längsrichtung:	Mehrfeldträger mit Durchlaufwirkung
2.3 Bauwerkssystem in Querrichtung:	Hohlkasten
2.4 System der Lagerung:	Festpunkt (Topflager) auf einem Widerlager; am anderen Widerlager und auf den Pfeilern längsverschiebliche Lager (jeweils Gleitlager ohne Kippvorrichtung, einachsiger oder allseits beweglich); querfeste Lager in allen Achsen
2.5 Pfeiler / Stützen:	Stahlbetonpfeilerscheiben mit Vollquerschnitt
2.6 Widerlager:	Kastenförmig
2.7 Gründung:	Widerlager: Flachgründung; Stützen: Ortbeton Bohrpfähle
2.8 Belag, Oberflächen- und Korrosionsschutz:	Bitumenvoranstrich, 1 cm 0/5 mm Sandasphalt, 3 cm 0/11 mm splittreicher Asphaltbeton

3. Baustoffe

- 3.1 Überbau:** B 450 (entspricht C30/37); Betonstahl: BSt 42/50 RU (IIIU) ($f_{yk} = 420\text{N/mm}^2$); interne Längsvorspannung exzentrisch (entsprechend Momentenverlauf) und interne Quervorspannung in Endquerträger ($f_{p0,2k} = 1500\text{ N/mm}^2$, $f_{pk} = 1700\text{ N/mm}^2$); interne Quervorspannung in Fahrbahnplatte ($f_{p0,2k} = 1080\text{ N/mm}^2$, $f_{pk} = 1230\text{ N/mm}^2$)
- 3.2 Pfeiler / Stützen:** B 450 (entspricht C30/37); Betonstahl: BSt 42/50 RU (IIIU) ($f_{yk} = 420\text{N/mm}^2$)
- 3.3 Widerlager:** Bn 350 (entspricht C25/30); Betonstahl: BSt 42/50 RU (IIIU) ($f_{yk} = 420\text{N/mm}^2$)

4. Baugrund

-

5. Besondere, für das Verstärkungserfordernis bedeutsame Bauwerks- und Bauteilmerkmale

Die in den Stegen verlegten und im Bereich der Koppelfugen aufgefächerten Spannglieder in TBW 1 im Feld zwischen den Achsen C und D wurden durch eine Bohrung zerstört.

Angaben zur Art der Verstärkung

- | | |
|--|---|
| 1. Kurzbeschreibung: | Zusätzliche externe Vorspannung |
| 2. Grund und Ursache bzw. Ziel der Verstärkung: | Beschädigung von Spanngliedern; Traglasterhöhung in den Koppelfugen |
| 3. Verstärkte Bauteile: | Überbau (2 Felder) |
| 4. Verstärkungsanwendung: | Global |
| 5. Kosten der Verstärkungsmaßnahme: | |
| - insgesamt: | 142.550 + 53445 = 195995 € |
| - bezogen auf die Brückenfläche: | Gesamt: 27 €/m ² ; TBW 1: 40 €/m ² |
| 6. Zeitraum der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme: | 2010 (2 Monate) |
| 7.1 Nutzungseinschränkung während der Verstärkungsmaßnahme: | Geschwindigkeitsbeschränkung während des Betonierens der Vorsatzschale der Querträger |
| 7.2 Nutzungseinschränkung nach der Verstärkungsmaßnahme: | Keine |
| 8. Voraussichtliche Nutzungsdauer: | Dauerhaft |

Ursachen für den Verstärkungsbedarf

Bei Arbeiten im Rahmen eines Forschungsprojektes wurden am Überbau des TBW 1 (Bild 1) im Feld C-D durch Bohrungen mit einem Durchmesser von 65 mm je drei Spannglieder in

den Stegen des Hohlkastens zerstört. Die Schadensstelle liegt ca. 6,75 m entfernt von Stütze C in Richtung Stütze D im Bereich der durch die Koppelfuge aufgefächerten Spann-

gliedlagen (Bild 2). Die untersten Spannglieder wurden vollständig druchtrennt.

Eine kurzfristige, qualitative Einschätzung der Tragfähigkeit des Überbaus auf Grundlage der geprüften Bestandsunterlagen ergab, dass die Bruchsicherheit des geschädigten Querschnitts für die BK 60 gewährleistet ist, selbst wenn die geschädigten Spannglieder über die gesamte Brückenlänge als vollständig ausgefallen betrachtet wurden. Beim Nachweis der Spannungen im Gebrauchszustand traten unter der Annahme, dass die drei Spannglieder nicht mehr wirksam waren, unter der zur damaligen

Zeit vorgesehenen Lastfallkombination Zugspannungen auf, die nach Norm nicht zulässig waren. Bei diesem Nachweis wurden die ständigen Lasten plus 80 % der Verkehrslasten der BK 60 angesetzt, obwohl die Brücke laut Bauwerksbuch in die BK 60/30 einzuordnen war. Der Temperaturlastfall wurde nicht berücksichtigt.

Als Nutzungseinschränkung infolge des Schadens ergab sich eine Sperrung der Brücke für Schwertransporte. Diese wurde nach der Instandsetzung wieder aufgehoben.

Beschreibung der Verstärkung

Da eine Relativbewegung zwischen Spannstahtanschnitt und dem umgebenden Beton nicht zu erkennen war, wurde für die Normalspannungsnachweise davon ausgegangen, dass die Kraft in den Spanngliedern von den Fehlstellen über Verbund vom Spannstaht in den Beton übertragen wird. Für die Krafteinleitung von glatten Spanndrähten in Beton gibt es keine normative Vorgabe. Als Verbundspannung wurde die zulässige Verbundspannung für glatte Bewehrungsstähe BSt 500/550 in Beton B45 (entspricht C35/45) aus DIN 1045 (Dezember 1978) herangezogen. Bei den Nachweisen im rechnerischen Bruchzustand wurde von einem vollständigen Ausfall der geschädigten Spannglieder ausgegangen.

Zusätzlich zur Planung der erforderlichen Maßnahmen zur Schadensbeseitigung wurde der Auftrag erteilt, das Bauwerk nach der Handlungsanweisung der BAST zur Beurteilung der Dauerhaftigkeit vorgespannter Bewehrung zu untersuchen. Aufgrund der ständig wachsenden Verkehrsbelastung, insbesondere aus Schwerverkehr, waren außerdem in einem nächsten Schritt erforderliche Maßnahmen zum Wiedererreichen der Brückenklasse 60/30 aufzuzeigen. In den Bestandsunterlagen war die statische Berechnung nicht vollständig enthalten, sodass im Rahmen der Instandsetzungsplanung auf Grundlage der in den Ausführungsplänen angegebenen Abmessungen und Spanngliedlagen die Schnittkräfte neu ermittelt werden mussten. Zur Kalibrierung des Systems wurden die Auflagerkräfte aus der Bestandsstatik herangezogen.

Im TBW 1 wurden die Kernbohrungen im Bereich der Schadstelle verfüllt, und es wurde

eine externe Vorspannung zwischen den Achsen C und E ergänzt, die im Bereich zwischen den Achsen C und D aus vier Spanngliedern und im Bereich zwischen den Achsen D und E aus zwei Spanngliedern besteht. In TBW 2 wurde im Endfeld zwischen den Achsen D und E eine externe Vorspannung, bestehend aus zwei Spanngliedern, ergänzt (Bilder 3 bis 5). Zur Verankerung der zusätzlichen Vorspannung wurden an den vorhandenen Stütz- und Endquerträgern bewehrte Vorsatzschalen ergänzt. Hierzu wurden alle mit der Verstärkung in Berührung kommenden Oberflächen auf Fehlstellen und Schäden untersucht und instandgesetzt. Die Bewehrung der zusätzlichen Vorsatzschalen wurde am Bestandsbauwerk verankert. Hierzu waren vor dem Bohren der Ankerlöcher die vorhandene Bewehrung, die vorhandenen Stegspannglieder, sowie die vorhandenen Querspannglieder in der Fahrbahnplatte lagemäßig zu orten, um eine Beschädigung derselben ausschließen zu können. Alle Aufrau- und Abbruchflächen waren nachzustrahlen und alle Berührungsflächen von neuem und altem Beton ausreichend vorzunässen, sodass der neue Beton auf mattsfeuchter (alter) Betonoberfläche aufgebracht werden konnte. Die Verankerung der zusätzlichen Spannglieder erfolgte schließlich über Stahlplatten, die Durchführung durch die Stütz- und Endquerträger erfolgte durch PE-Aussparungsrohre (Bild 5). Hierzu wurden Kernbohrungen in Richtung der ankommenden Spannglieder angeordnet, die anschließend kraftschlüssig mit Epoxidharz verfüllt und außenseitig mit PUR-Kitt abgedichtet wurden.

Folgerungen

Die Brücke wurde erfolgreich verstärkt, sodass die durch den Schaden entstandenen Nutzungseinschränkungen in Form von einer Sperrung der Brücke für Schwertransporte

wieder aufgehoben werden konnten. Zudem konnte die Brücke nach der Verstärkung wieder in die Brückenklasse 60/30 eingestuft werden.

Bilder und Bauwerksskizzen



Bild 1: Übersichtsfoto des Brückenbauwerks

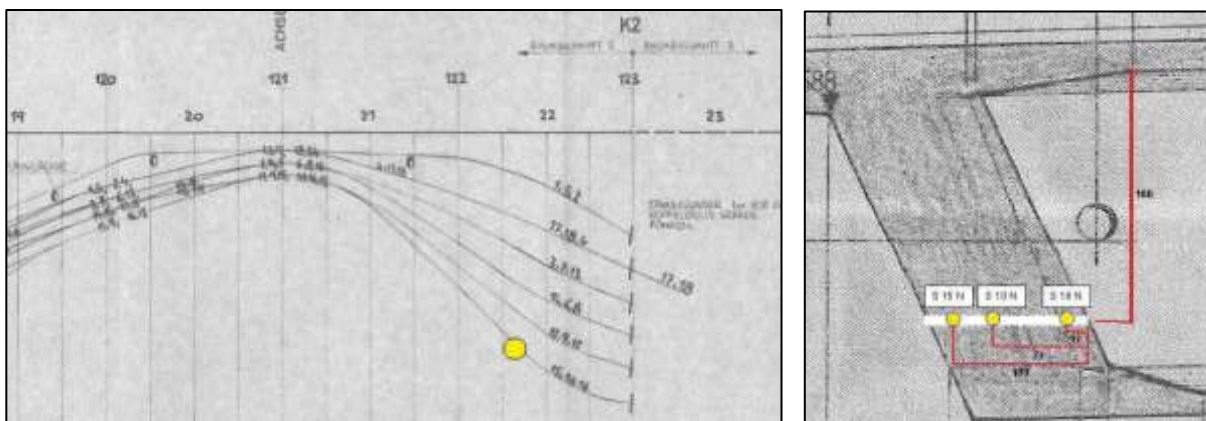


Bild 2: Spanngliedauffächerung im Bereich der Koppelfuge und Schadenstelle in Ansicht (links) und Querschnitt (rechts)

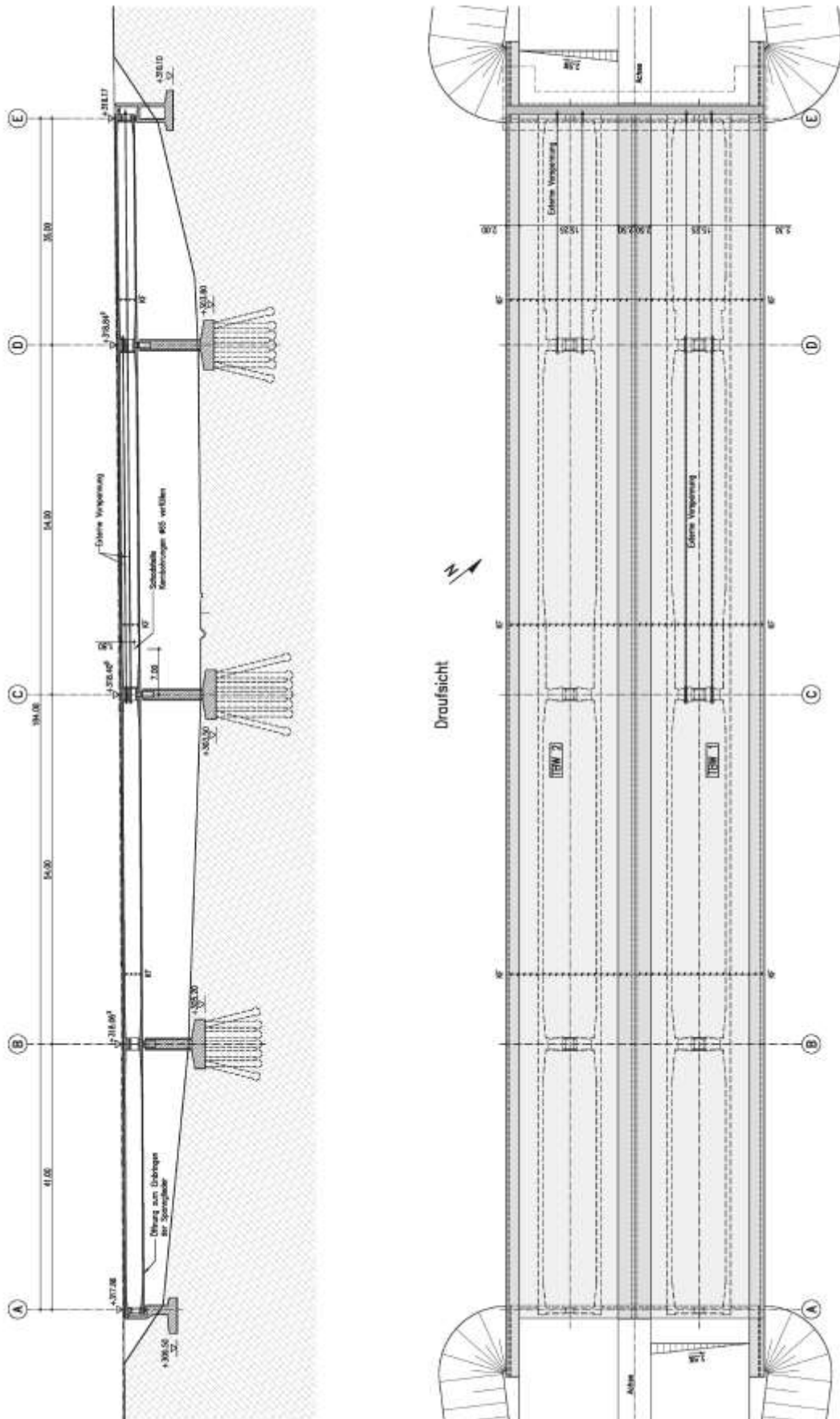


Bild 3: Übersicht Verstärkung in Längsschnitt und Draufsicht (Entwurfsplanung)

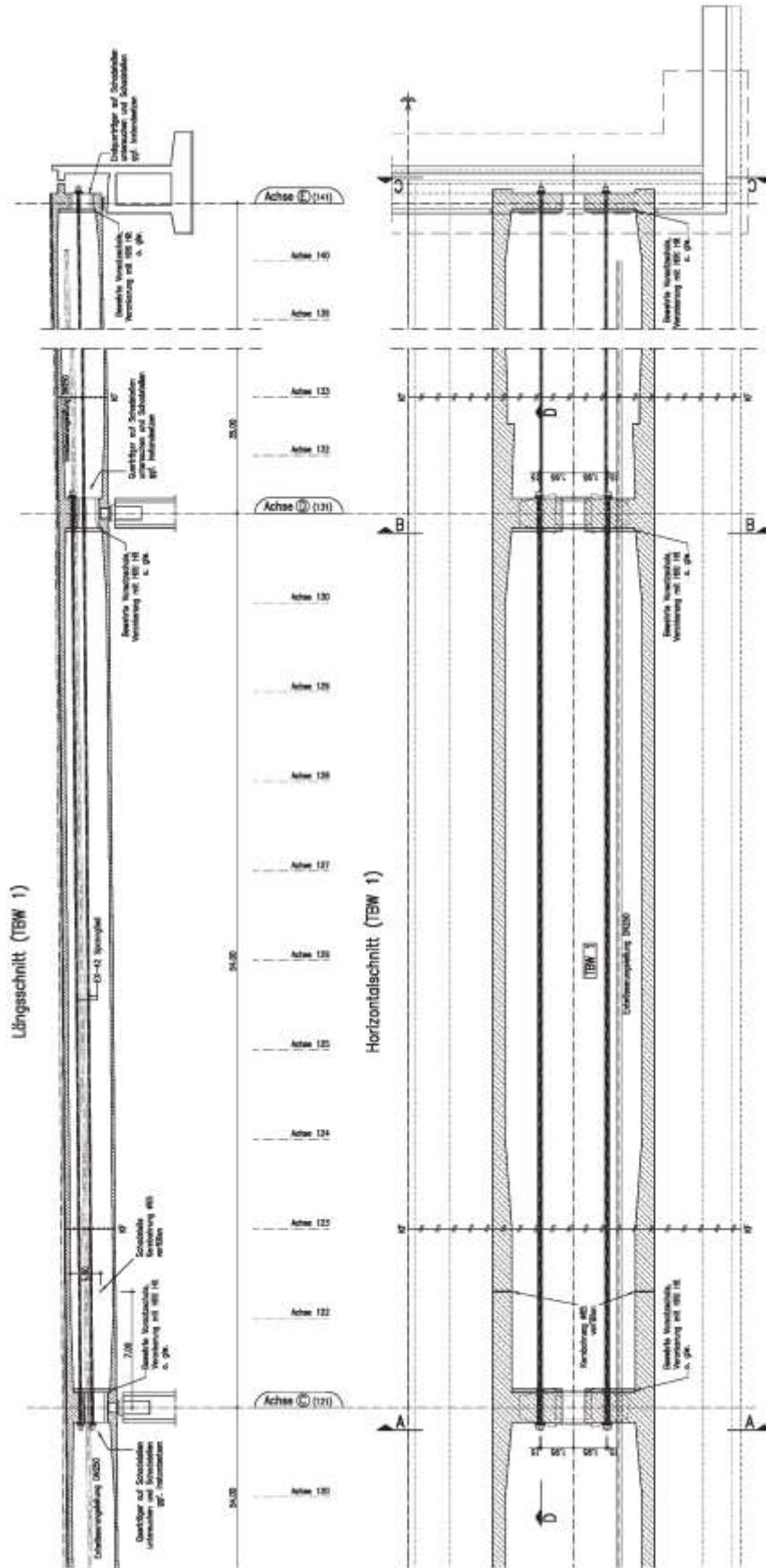


Bild 4: Übersicht Verstärkung von TBW 1 in Längsschnitt und Horizontalschnitt und Lage der Schnitte (Entwurfsplanung)

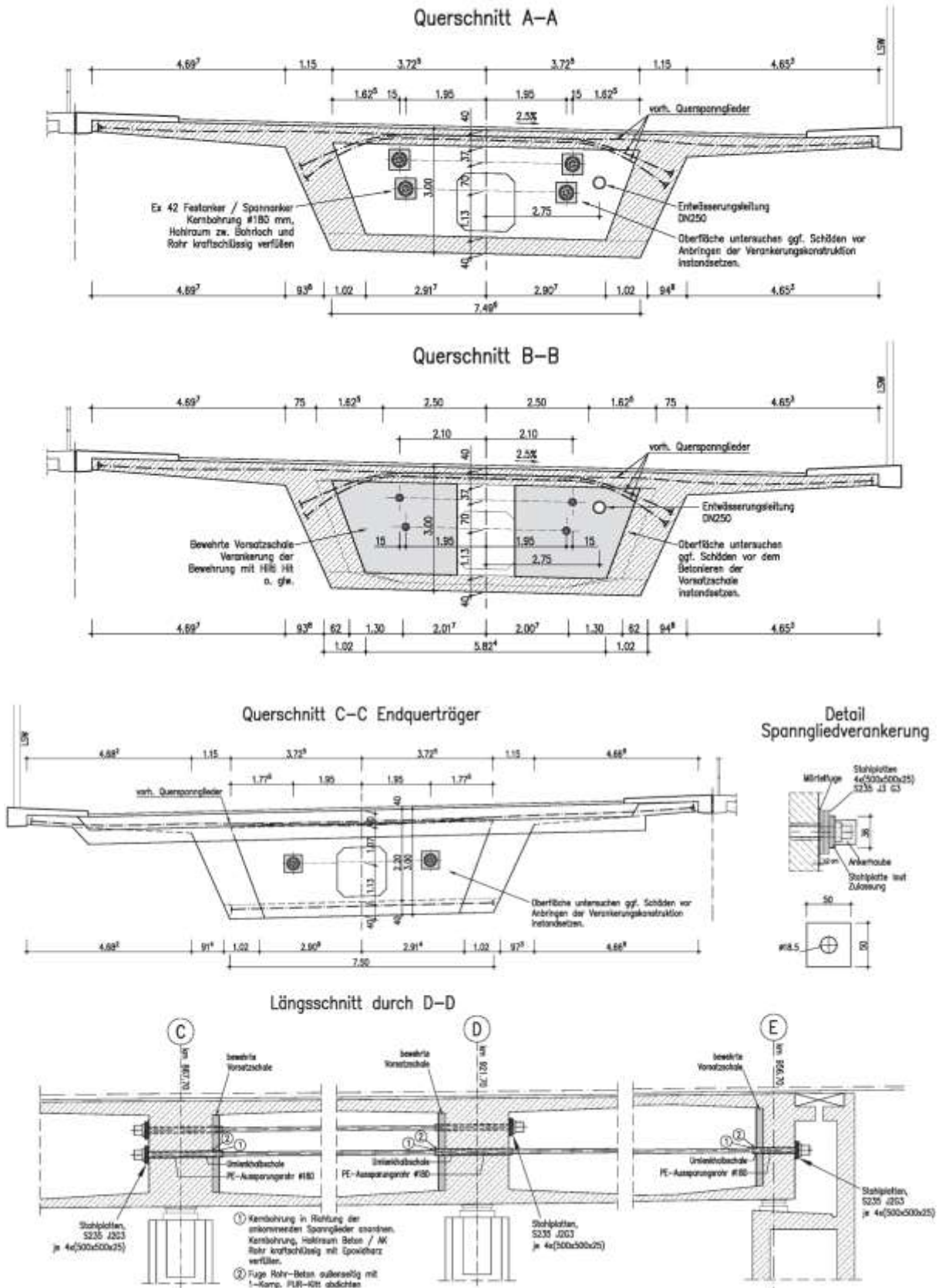


Bild 5: Querschnitte A-A, B-B und C-C, Detail Spanngliedverankerung und Längsschnitt D-D (Entwurfsplanung)

Verstärkung 1.4: **Notinstandsetzung eines Hohlkasten-
querschnitts mittels zusätzlicher externer
zentrischer Vorspannung und
Querkraftverstärkung mit
Stabspanngliedern an den Steginnenseiten**

Bauwerksdaten

1. Allgemeine Angaben

1.1 Einzel- und Gesamtstützweiten:	$43,50 + 3 \times 57,80 + 43,50 = 260,40$	m
1.2 Zahl der Felder:	5	
1.3 Breite zwischen den Geländern:	$15,48 + 15,68 = 31,16$	m
1.4 Brückenfläche:	$4031 + 4083 = 8114$	m ²
1.5 Bauwerkswinkel:	100	gon
1.6 Brückenklasse (vor der Verstärkung):	BK 60 (DIN 1072)	
1.7 Brückenklasse (nach der Verstärkung):	BK 60/30 (DIN 1072)	
1.8 Baujahr:	1967	
1.9 Baukosten insgesamt:	$2 \times 3.279.668 \text{ DM} \approx 3.353.735$	€
1.10 Baukosten bezogen auf Brückenfläche:	413	€/m ²

2. Angaben zur Konstruktion

2.1 Hauptbaustoff:	Spannbeton
2.2 Bauwerkssystem in Längsrichtung:	Im Grundriss gekrümmter Mehrfeldträger mit Durchlaufwirkung ($R = 1100 \text{ m}$)
2.3 Bauwerkssystem in Querrichtung:	Hohlkasten
2.4 System der Lagerung:	Festpunkt (zwei Linienkipplager) auf einem Widerlager; am anderen Widerlager und auf den Pfeilern längsverschiebliche Lager (jeweils zwei Stahlrollenlager); querfeste Lager in allen Achsen
2.5 Pfeiler / Stützen:	Hohlquerschnitt
2.6 Widerlager:	Kastenförmig
2.7 Gründung:	Flachgründung
2.8 Belag, Oberflächen- und Korrosionsschutz:	Gussasphalt-Schutzschicht und Abdichtung

3. Baustoffe

3.1 Überbau:	B 450 (entspricht C30/37); Betonstahl BSt IIIb ($f_{yk} = 400 \text{ N/mm}^2$); Spannstahl längs in Hohlkastenstegen und Spannstahl quer in Fahrbahnplatte ($f_{p0,2k} = 1230 \text{ N/mm}^2$, $f_{pk} = 1375 \text{ N/mm}^2$)
--------------	---

- 3.2 Pfeiler / Stützen:** B 300 (entspricht C20/25); Pfeilerkopf B 450 (entspricht C30/37); Betonstahl: BSt IIIb ($f_{yk} = 400 \text{ N/mm}^2$)
- 3.3 Widerlager:** B 300 (entspricht C20/25); Betonstahl: BSt I ($f_{yk} = 220 \text{ N/mm}^2$); Auflagerbank: B 450 (entspricht C30/37), Betonstahl: BSt I ($f_{yk} = 220 \text{ N/mm}^2$)

4. Baugrund

-

5. Besondere, für das Verstärkungserfordernis bedeutsame Bauwerks- und Bauteilmerkmale

Neben einem insgesamt schlechten baulichen Zustand wurden für das Baujahr typische Defizite im Bereich der Koppelfugen (Koppelfugenproblematik) und der Querkrafttragfähigkeit festgestellt.

Angaben zur Art der Verstärkung

- 1. Kurzbeschreibung:** Zusätzliche Vorspannung (zentrisch) / Querkraftverstärkung mit Stabspanngliedern
- 2. Grund und Ursache bzw. Ziel der Verstärkung:** Traglasterhöhung von BK 60 auf BK 60/30
- 3. Verstärkte Bauteile:** Verstärkung des Überbaus in Längsrichtung mit externen Spanngliedern / Querkraftverstärkung der Hohlkastenstege mit Stabspanngliedern
- 4. Verstärkungsanwendung:** Global (externe Vorspannung) und lokal (Querkraftverstärkung)
- 5. Kosten der Verstärkungsmaßnahme:**
 - insgesamt: ca. 2.900.000 € (TBW 2)
 - bezogen auf die Brückenfläche: ca. 710 €/m²
- 6. Zeitraum der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme:** 2010 – 2011 (14 Monate)
- 7.1 Nutzungseinschränkung während der Verstärkungsmaßnahme:** Sperrung eines Fahrstreifens (in jeder Bauphase wurden zwei Fahrstreifen von ursprünglich drei Fahrstreifen je Fahrtrichtung aufrecht erhalten)
- 7.2 Nutzungseinschränkung nach der Verstärkungsmaßnahme:** Keine
- 8. Voraussichtliche Nutzungsdauer:** Beide Teilbauwerke der Brücke sollten zeitnah durch einen Neubau ersetzt werden. Bei der Verstärkungsmaßnahme handelte es sich daher um eine "Notinstandsetzung" des Teilbauwerks 2 für eine Lebensdauer von ca. zehn Jahren mit dem Ziel, Brückenklasse 60/30 zu erreichen, sodass das TBW 2 während der Erneuerung des TBW 1 einen 4+0-Verkehr aufnehmen konnte.

Ursachen für den Verstärkungsbedarf

Der bauliche Zustand der Überbauten sowie die Ergebnisse einer Nachrechnung für die Brückenklasse 60/30 erforderten zusätzliche Überwachungs- und Prüftätigkeiten, bei denen folgende Mängel an den Überbauten aufgedeckt wurden: Es bestanden gravierende Betonschäden wie Betonabplatzungen und Kiesnester besonders im Bereich der Endfelder sowie Aussinterungen an der Innen- und Außenseite insbesondere auch im Bereich der Koppelfugen. Neben Netzrissen an der Oberfläche, Rissen an Spannischen, Längsrissen in den Bodenplatten und Schrägrissen im Bereich der Stützen wurden an den insgesamt vier Koppelfugen Risse mit Rissöffnungen zwischen 0,2 und 0,4 mm, in Einzelbereichen bis zu 0,5 mm, festgestellt. An den Stegflächen im Bereich der Querträger wurden korrodierte Querschnittsflächen der Spannlitzen festgestellt. Da in diesem Bereich infolge mangelnder Betonüberdeckung die Spannlitzen über viele Jahre der Witterung ausgesetzt waren, waren tiefer führende Korrosionen an den Spanngliedern nicht auszuschließen. Aufgrund zu geringer oder fehlender Betondeckung lag die Bewehrung im Inneren der Hohlkästen frei und war korrodiert.

Die Nachrechnung der Überbauten für die Brückenklasse 60/30 ergab, dass sowohl die

Nachweise der Gebrauchstauglichkeit als auch der Tragfähigkeit nicht durchgehend geführt werden konnten. Für beide Fälle wurden teilweise wesentliche Defizite festgestellt, die eine Verstärkung dringend erforderlich machten. Neben der sogenannten Koppelfugenproblematik wurden Spannungsdefizite verzeichnet. Zudem war keine ausreichende Querkrafttragfähigkeit gegeben. Die rechnerische Untersuchung der Koppelfugen für die Brückenklasse 60/30 gemäß der Handlungsanweisung zur Beurteilung der Dauerhaftigkeit vorgespannter Bewehrung von älteren Spannbetonüberbauten ergab, dass die geforderten Schwingbreiten nach Stufe II nicht eingehalten werden konnten und somit im Sinne der Handlungsanweisung ein Ermüdungsversagen nicht ausgeschlossen werden konnte.

Aufgrund des ungewöhnlich hohen Grades an Vorschädigungen wurde bei Teilbauwerk 1 von einer Notinstandsetzung abgesehen und umgehend eine Erneuerung dieses Überbaus vorgenommen. Die Verstärkung erfolgte daher nur für das Teilbauwerk 2, sodass das TBW 2 während der Erneuerung des TBW 1 einen 4+0-Verkehr aufnehmen konnte.

Beschreibung der Verstärkung

Die Verstärkungsmaßnahmen erfolgten im Sinne einer sogenannten Notinstandsetzung. Dabei wurde die Brücke bei einer definierten Restnutzungsdauer von ca. zehn Jahren auf Brückenklasse 60/30 ertüchtigt. Gleichzeitig wurden alle bekannten Schäden, die die uneingeschränkte Nutzung der Brücke nochmals behindern könnten, unter Beachtung der Prämisse beseitigt, dass Beton-Instandsetzungsarbeiten nach ZTV-ING soweit wie möglich auf einen minimalen Umfang zu beschränken waren. Im Mittelpunkt der Planungstätigkeit stand daher die Frage, wie bei einer Notinstandsetzung mit einer durchaus überschaubaren Restnutzungsdauer von ca. zehn Jahren eine Optimierung der Instandsetzungsmaßnahmen erfolgen kann. Im Ergebnis wurden Lösungsansätze entwickelt, die

den Eingriff in den Bestand weitestgehend auf das nur unbedingt Erforderliche reduzieren.

Es wurden in Längsrichtung vier externe Litzenspannglieder (VT CMM 4x04-150D) ohne Verbund mit einer maximalen Vorspannkraft von jeweils 2974 kN zentrisch eingebaut (Bild 1). Die Spannglieder wurden an den beiden Enden der Brücke (Achsen 10 und 60) stegnah in massiven, quer vorgespannten Ankerblöcken verankert (Bild 2). Die Quervorspannung der 5,5 m langen Ankerblöcke zur Verankerung von jeweils zwei Längsspanngliedern bestand laut Entwurfsplanung aus zwölf Stabspanngliedern mit einem Durchmesser von 36 mm, die durch Kernbohrungen mit einem Durchmesser von 51 mm am Steg verankert wurden. Die Ankerblöcke wurden gegeneinander durch eine

Konstruktion aus Stahlrohren ausgesteift, um unter anderem die horizontalen Umlenkkräfte abzutragen. Eine Verankerung der zusätzlichen Längsspannglieder an den bestehenden Endquerträgern schied aus, da zum Einen kein ausreichender Platz vorhanden war und zum Anderen die Endquerträger für diese zusätzlichen Lasten nicht ausgelegt waren.

Die Querkraftverstärkung erfolgte durch vertikal angeordnete Stabspannglieder an der Innenseite der Stege im Bereich der Achsen 20 bis 50 (Bilder 1, 3 und 4). Der prinzipielle Bauablauf zur Herstellung der Querkraftverstärkung sah laut Entwurfsplanung nach dem Einmessen der planmäßigen Lage der vertikalen Stegspannglieder den Einbau und die Befestigung der Stahlträger (U400) am Überbau mit im Stegbereich angebrachten Verbundankern vor

(Bild 5). Anschließend wurden die Kernbohrungen für die spätere Verankerung der Spannglieder in der Fahrbahnplatte hergestellt. Da die Stabspannglieder in eine Betonvorsatzschale eingebunden werden sollten, wurden die Steginnenflächen mittels Höchstdruckwasserstrahlen aufgeraut und so für die spätere Herstellung der Betonvorsatzschale vorbereitet. Nach Herstellung der Stegschlitze wurden die Stegspannglieder unter handfester Vorspannung eingebaut. Die seitlichen Keile zwischen Stegaußenkante und Stahlträgerkonsole wurden kraftschlüssig eingebaut und seitlich fixiert. Anschließend wurde die Betonvorsatzschale hergestellt. Unter Verwendung von Anschlussbewehrung wurden die Stabspannglieder mit einer maximalen Vorspannkraft von 460 kN vorgespannt und anschließend verpresst.

Folgerungen

Es wurden Lösungsansätze entwickelt, die den Eingriff in den Bestand weitestgehend auf das nur unbedingt Erforderliche reduzieren. Wo Eingriffe in den Bestand unumgänglich waren, wurden diese in additiver Weise möglichst schonend realisiert. Voraussetzung dafür war eine entsprechend intensive statisch-konstruktive Auseinandersetzung mit den grundsätzlichen Fragestellungen. Der interaktive Planungsprozess zwischen verschiedenen Planungsbüros, insbesondere jedoch der

intensive Dialog mit der Straßenbauverwaltung und den Prüfengeuren waren immer zielführend und ergebnisorientiert und brachten das auch hinsichtlich Terminen sehr ambitionierte Unternehmen „Notinstandsetzung“ zum für alle Beteiligten zufriedenstellenden Abschluss. Mit Hilfe der beschriebenen Maßnahmen (zusätzliche zentrische Vorspannung, Querkraftverstärkung mit Stabspanngliedern) konnten die festgestellten Defizite erfolgreich beseitigt werden.

Bilder und Bauwerksskizzen

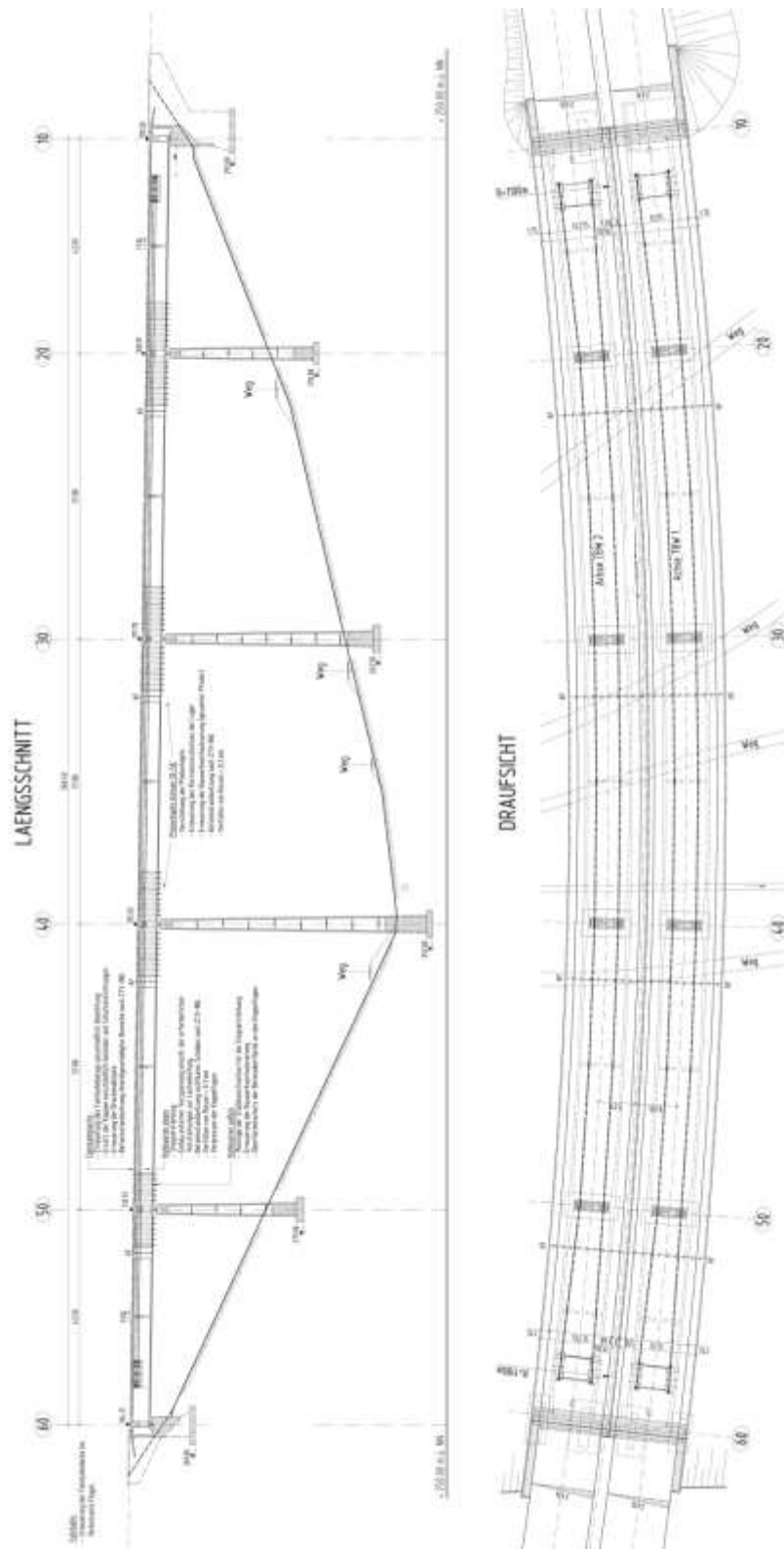


Bild 1: Übersicht Verstärkung in Längsschnitt und Draufsicht (Entwurfsplanung)

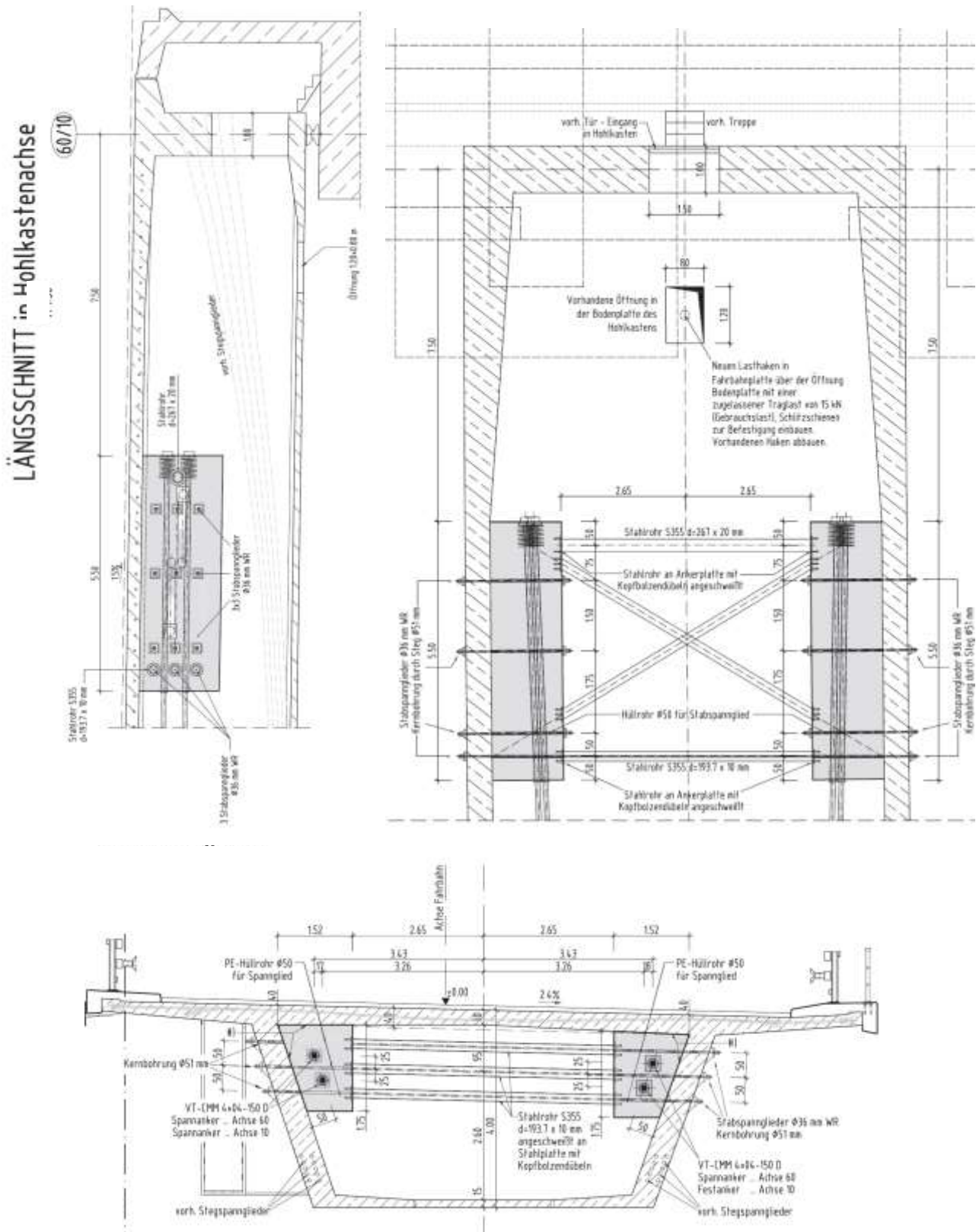


Bild 2: Ankerblöcke zur Verankerung der zusätzlichen Längsspannglieder (Entwurfsplanung)

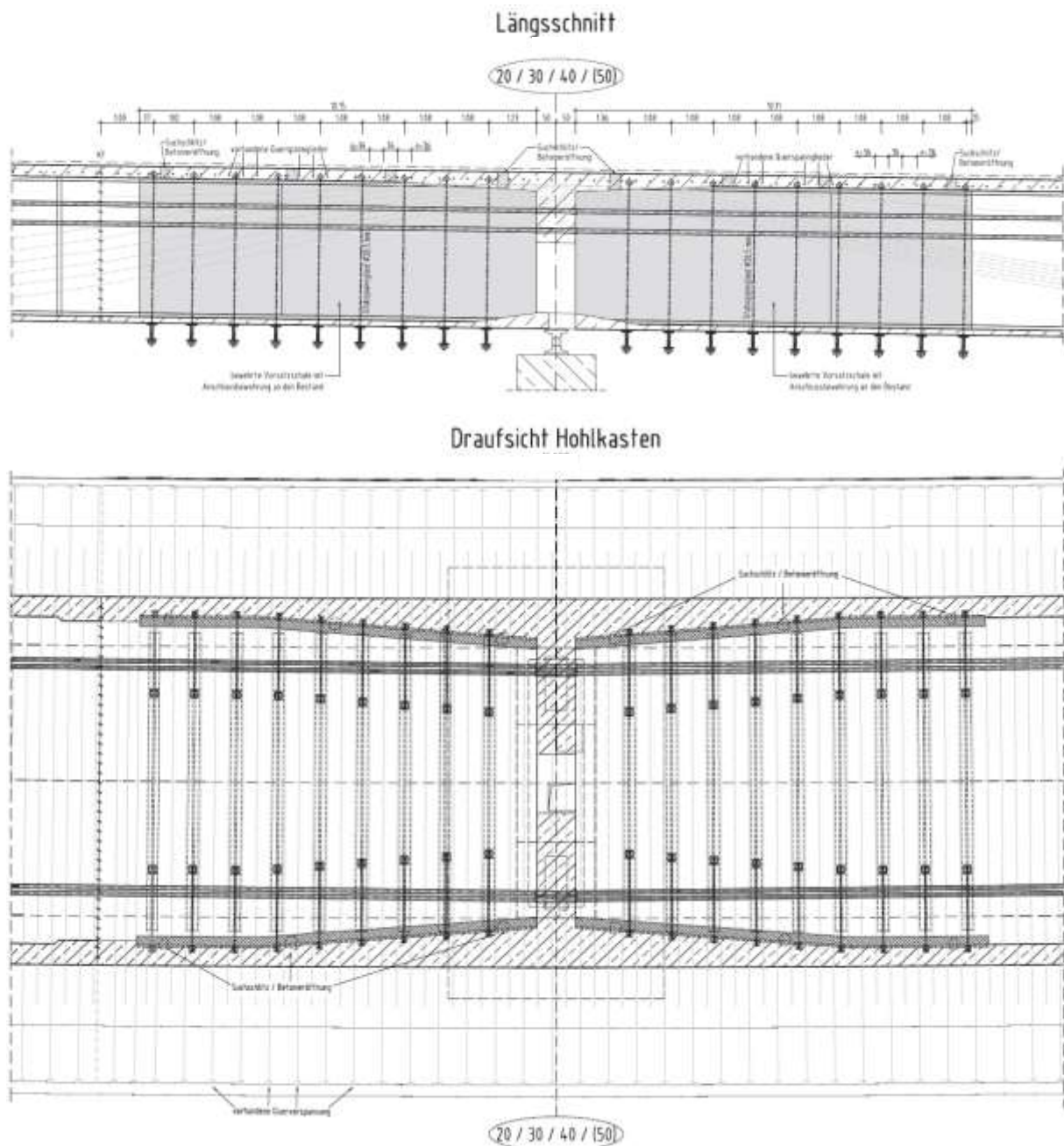
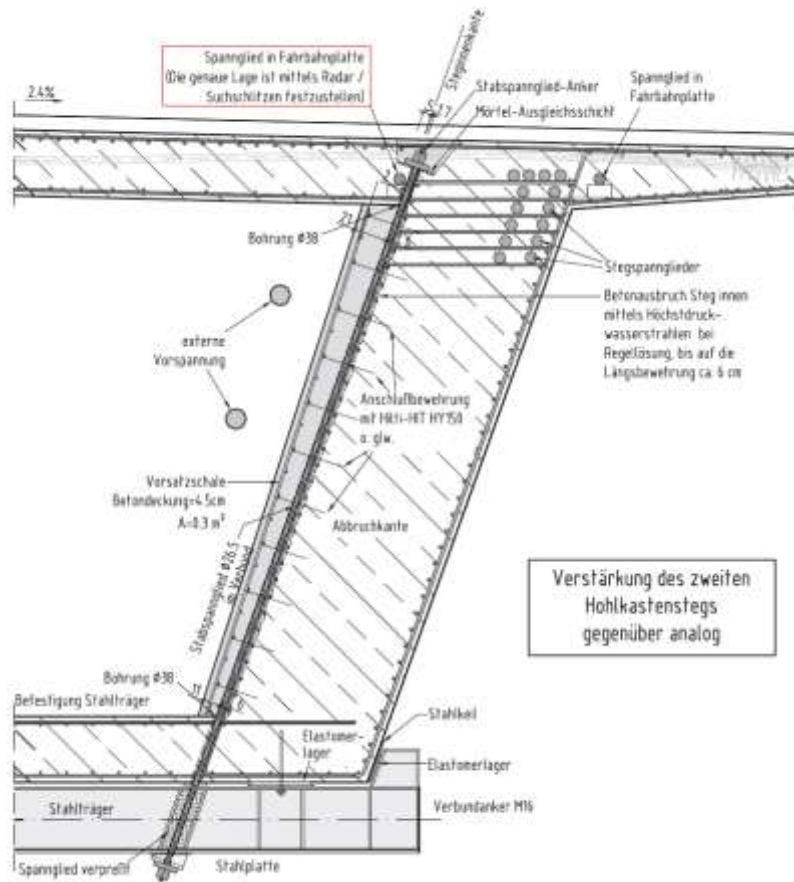
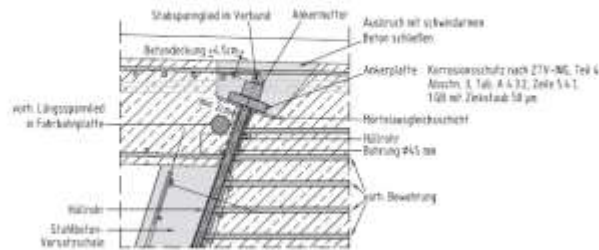


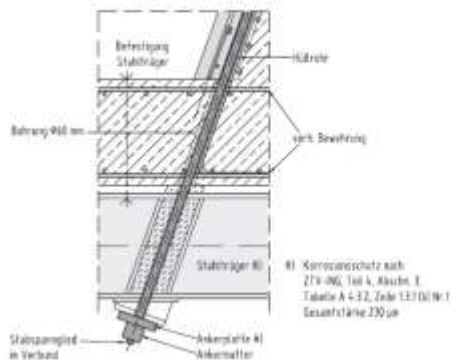
Bild 3: Querkraftverstärkung, Längsschnitt / Draufsicht (Entwurfsplanung)



Details Stabspannglied
Verankerung in der Fahrbahnplatte
M 1:10



Verankerung am Stahlträger
M 1:10



Querschnitt Stahlträger
M 1:10

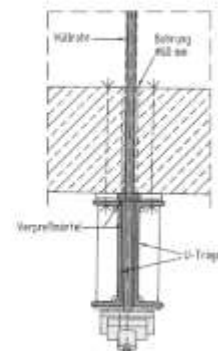


Bild 4: Querkraftverstärkung, Querschnitt und Details (Entwurfsplanung)



Bild 5: Untersicht Brücke mit Stahlträgern zur Verankerung der Querkraftverstärkung

Verstärkung 1.5: **Notinstandsetzung eines Hohlkasten-
querschnitts mittels zusätzlicher externer
zentrischer Vorspannung und Querkraft-
und Torsionsverstärkung mit
Stabspanngliedern an den Stegaußenseiten**

Bauwerksdaten

1. Allgemeine Angaben

1.1 Einzel- und Gesamtstützweiten:	$37,90 + 7 \times 44,60 + 37,90 = 388,0$	m
1.2 Zahl der Felder:	9	
1.3 Breite zwischen den Geländern:	$2 \times 16,0 = 32,0$	m
1.4 Brückenfläche:	$2 \times 6208 = 12416$	m ²
1.5 Bauwerkswinkel:	100	gon
1.6 Brückenklasse (vor der Verstärkung):	BK 60 (DIN 1072)	
1.7 Brückenklasse (nach der Verstärkung):	BK 60/30 (DIN 1072) für TBW 2	
1.8 Baujahr:	1968	
1.9 Baukosten insgesamt:	$2 \times 4.052.965 \text{ Mio DM} \cong 4.144.496$	€
1.10 Baukosten bezogen auf Brückenfläche:	334	€/m ²

2. Angaben zur Konstruktion

2.1 Hauptbaustoff:	Spannbeton
2.2 Bauwerkssystem in Längsrichtung:	Im Grundriss gekrümmter Mehrfeldträger mit Durchlaufwirkung ($R < 1500 \text{ m}$, Wendeklothoide und Kreisbogen)
2.3 Bauwerkssystem in Querrichtung:	Hohlkasten
2.4 System der Lagerung:	Festpunkte Achse E und F: Topflager mit Kunststoffdichtung; an den Widerlagern und Pfeilern Achsen B-D und G-J: Gleitlager mit Topflager längsverschieblich; querfeste Lager in allen Achsen
2.5 Pfeiler / Stützen:	Hohlquerschnitt
2.6 Widerlager:	Kastenförmig
2.7 Gründung:	Flachgründung
2.8 Belag, Oberflächen- und Korrosionsschutz:	Grundierung mit Epoxidharz, bituminöse Dichtungsbahn und Gussasphalt

3. Baustoffe

- 3.1 Überbau:** B 450 (entspricht C30/37); Fahrbahnplatte B 300 (entspricht C20/25); Betonstahl BSt 22/34 RU (I R) ($f_{yk} = 220 \text{ N/mm}^2$) und BSt II; interner Spannstahl längs in Hohlkastenstegen ($f_{p0,2k} = 1230 \text{ N/mm}^2$, $f_{pk} = 1375 \text{ N/mm}^2$); interner Spannstahl quer in Fahrbahnplatte und Querträgern ($f_{p0,2k} = 1325 \text{ N/mm}^2$, $f_{pk} = 1470 \text{ N/mm}^2$)
- 3.2 Pfeiler / Stützen:** B 300 (entspricht C20/25); Pfeilerkopf: B 450 (entspricht C30/37), Betonstahl BSt 22/34 RU (I R) ($f_{yk} = 220 \text{ N/mm}^2$)
- 3.3 Widerlager:** B 300 (entspricht C20/25); Auflagerbank: B 450 (entspricht C30/37), Betonstahl BSt 22/34 RU (I R) ($f_{yk} = 220 \text{ N/mm}^2$) und BSt II

4. Baugrund

-

5. Besondere, für das Verstärkungserfordernis bedeutsame Bauwerks- und Bauteilmerkmale

Neben einem insgesamt schlechten baulichen Zustand wurden für das Baujahr typische Defizite im Bereich der Koppelfugen (Koppelfugenproblematik) und der Querkrafttragfähigkeit festgestellt.

Angaben zur Art der Verstärkung

- 1. Kurzbeschreibung:** Zusätzliche Vorspannung (zentrisch) / Querkraft- und Torsionsverstärkung mit Stabspanngliedern
- 2. Grund und Ursache bzw. Ziel der Verstärkung:** Schadensbeseitigung, Beseitigung von Tragfähigkeitsdefiziten und Traglasterhöhung von BK 60 auf BK 60/30
- 3. Verstärkte Bauteile:** Verstärkung des Überbaus in Längsrichtung mit externen Spanngliedern / Querkraft- und Torsionsverstärkung der Hohlkastenstege und der Bodenplatte mit Stabspanngliedern
- 4. Verstärkungsanwendung:** Global (externe Vorspannung) und lokal (Querkraft- und Torsionsverstärkung)
- 5. Kosten der Verstärkungsmaßnahme:**
 - insgesamt: ca. 2.250.000 € (TBW 2)
 - bezogen auf die Brückenfläche: ca. 362 €/m²
- 6. Zeitraum der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme:** 2010 – 2011 (14 Monate)
- 7.1 Nutzungseinschränkung während der Verstärkungsmaßnahme:** Sperrung eines Fahrstreifens (in jeder Bauphase wurden zwei Fahrstreifen von ursprünglich drei Fahrstreifen je Fahrtrichtung aufrecht erhalten)
- 7.2 Nutzungseinschränkung nach der Verstärkungsmaßnahme:** Keine

8. Voraussichtliche Nutzungsdauer:

Beide Teilbauwerke der Brücke sollten zeitnah durch einen Neubau ersetzt werden. Bei der Verstärkungsmaßnahme von TBW 2 handelte es sich daher um eine "Notinstandsetzung" für eine Lebensdauer von ca. zehn Jahren mit dem Ziel, Brückenklasse 60/30 zu erreichen, sodass das TBW 2 während der Erneuerung des TBW 1 einen 4+0-Verkehr aufnehmen konnte.

Ursachen für den Verstärkungsbedarf

Bei einer Nachrechnung wurden große Tragfähigkeitsdefizite festgestellt, die eine Verstärkung dringend erforderlich machten. Neben der sogenannten Koppelfugenproblematik wurden Spannungsdefizite verzeichnet. Die Nachrechnung der Koppelfugen des Überbaus für die Brückenklasse 60/30 nach Stufe 1 der Handlungsanweisung der BAST ergab, dass die vorhandenen Spannungsschwingbreiten in allen Lastfällen den zulässigen Wert deutlich überstiegen, sodass eine Untersuchung nach Stufe 2 erforderlich wurde. Zudem war keine ausreichende Querkraft- und Torsionstragfähigkeit gegeben. Die Anschlüsse der Bodenplatte

an die Stege wiesen Defizite auf. Die Brücke befand sich zudem in einem sehr schlechten Zustand. Dabei wurde die aus zwei Teilbauwerken bestehende Brücke bereits Ende der 90er Jahre grundhaft instandgesetzt.

Bei Teilbauwerk 1 wurde aufgrund des hohen Grades an Vorschädigungen von einer Verstärkung abgesehen und umgehend eine Erneuerung dieses Überbaus vorgenommen. Daher erfolgte die Verstärkung nur für Teilbauwerk 2, sodass das dieses während der Erneuerung von TBW 1 einen 4+0-Verkehr aufnehmen konnte.

Beschreibung der Verstärkung

Die Verstärkungsmaßnahmen erfolgten im Sinne einer sogenannten Notinstandsetzung. Das Teilbauwerk 2 der Brücke (Bild 1) wurde hierbei unter Berücksichtigung einer definierten Restnutzungsdauer von ca. zehn Jahren auf Brückenklasse 60/30 ertüchtigt. Gleichzeitig wurden alle bekannten Schäden, die die uneingeschränkte Nutzung der Brücke während der Restnutzungsdauer nochmals behindern könnten, beseitigt. Hierbei wurden Beton-Instandsetzungsarbeiten nach ZTV-ING soweit wie möglich auf einen minimalen Umfang beschränkt.

Es wurden in Längsrichtung vier externe Litzenspannglieder (VT CMM 4x04-150D) ohne Verbund mit einer maximalen Vorspannkraft von jeweils 2974 kN zentrisch eingebaut. Die Spannglieder wurden an den beiden Enden der Brücke (Achsen A und K) stegnah in massiven, quer vorgespannten Ankerblöcken verankert und in den Achsen B und J horizontal umgelenkt, sodass die Führung in den mittleren Feldern zwischen den Achsen B und J nahe der

Symmetrieachse des Hohlkastens erfolgte (Bilder 2 bis 5). Für die Erstellung der zusätzlichen Ankerblöcke wurden alle Aufrau- und Abbruchflächen nachgestraht. Freigelegter Bewehrungsstahl wurde entrostet und bei Betondeckungen von weniger als 4 cm beschichtet, wobei für alle zu entrostenden Stahlteile der Normreinheitsgrad Sa 2½ galt. Die Berührungsflächen zwischen altem und neuem Beton wurden ausreichend vorgehässelt, sodass der neue Beton auf mattfeuchter (alter) Betonoberfläche aufgebracht werden konnte. Vor dem Bohren der Löcher für die Spanngliedumlenkung in den Stütz- und Feldquerträgern wurden die vorhandene Bewehrung und die vorhandenen Querspannglieder geortet, um eine Beschädigung derselben zu vermeiden.

Die Torsionsverstärkung erfolgte an der Unterseite der Bodenplatte durch Stabspannglieder, die über eine aus jeweils zwei U-Profilen (U200) bestehende Stahlkonstruktion verankert wurden. Die Torsionsverstärkung und die Details der Verankerung sind in den

Bildern 5 bis 7 dargestellt. Der Bauablauf zur Herstellung der Torsionsverstärkung sah laut Entwurfsplanung nach dem Einmessen der planmäßigen Lage der Torsionsverstärkung den Einbau und die Befestigung der Stahlträger (U200) am Überbau mit im Stegbereich und in der Bodenplatte angebrachten Verbundankern im Abstand von 1,5 m vor. Die Befestigung der Verbundanker an den Flanschen der U-Profile erfolgte über Langlöcher, die ausreichend Spiel für die Vorspannung aufwiesen. Nach der vertikalen Fixierung der Konstruktion durch handfestes Anziehen der Verbundanker wurden die horizontalen Stabspannglieder eingebaut und mit einer maximalen Vorspannkraft von 250 kN vorgespannt. Abschließend wurden die Verbundanker angezogen.

Die Querkraftverstärkung erfolgte durch vertikal angeordnete Stabspannglieder an der Außenseite der Stege im Bereich der Achsen B bis J (Bilder 8 bis 11). Der prinzipielle Bauablauf zur Herstellung der Querkraftverstärkung sah laut

Entwurfsplanung nach dem Einmessen der planmäßigen Lage der vertikalen Stegspannglieder den Einbau und die Befestigung der Stahlträger (U400) am Überbau mit im Stegbereich angebrachten Verbundankern vor. Anschließend wurden die Kernbohrungen für die spätere Verankerung der Spannglieder in der Fahrbahnplatte hergestellt (Bild 10). Da die Stabspannglieder in eine Betonvorsatzschale eingebunden werden sollten, wurden die Stegaußenflächen mittels Höchstdruckwasserstrahlen aufgeraut und so für die spätere Herstellung der Betonvorsatzschale vorbereitet. Nach dem Einbau der Stegspannglieder unter handfester Vorspannung und der Herstellung der Betonvorsatzschale (Bild 11) unter Verwendung von Anschlussbewehrung wurden die Stabspannglieder mit einer maximalen Vorspannkraft von 464 kN vorgespannt und anschließend verpresst. Abschließend wurden Abdichtung und Belag auf der Fahrbahnplatte ergänzt.

Folgerungen

Mit Hilfe der beschriebenen Maßnahmen (zusätzliche zentrische Vorspannung, Querkraft- und Torsionsverstärkung mit Stabspanngliedern)

konnten die festgestellten Defizite erfolgreich und möglichst schonend in additiver Weise beseitigt werden.

Bilder und Bauwerksskizzen



Bild 1: Übersichtsfoto des Brückenbauwerks

LÄNGSSCHNITT durch Hohlkastenachse TBW 2

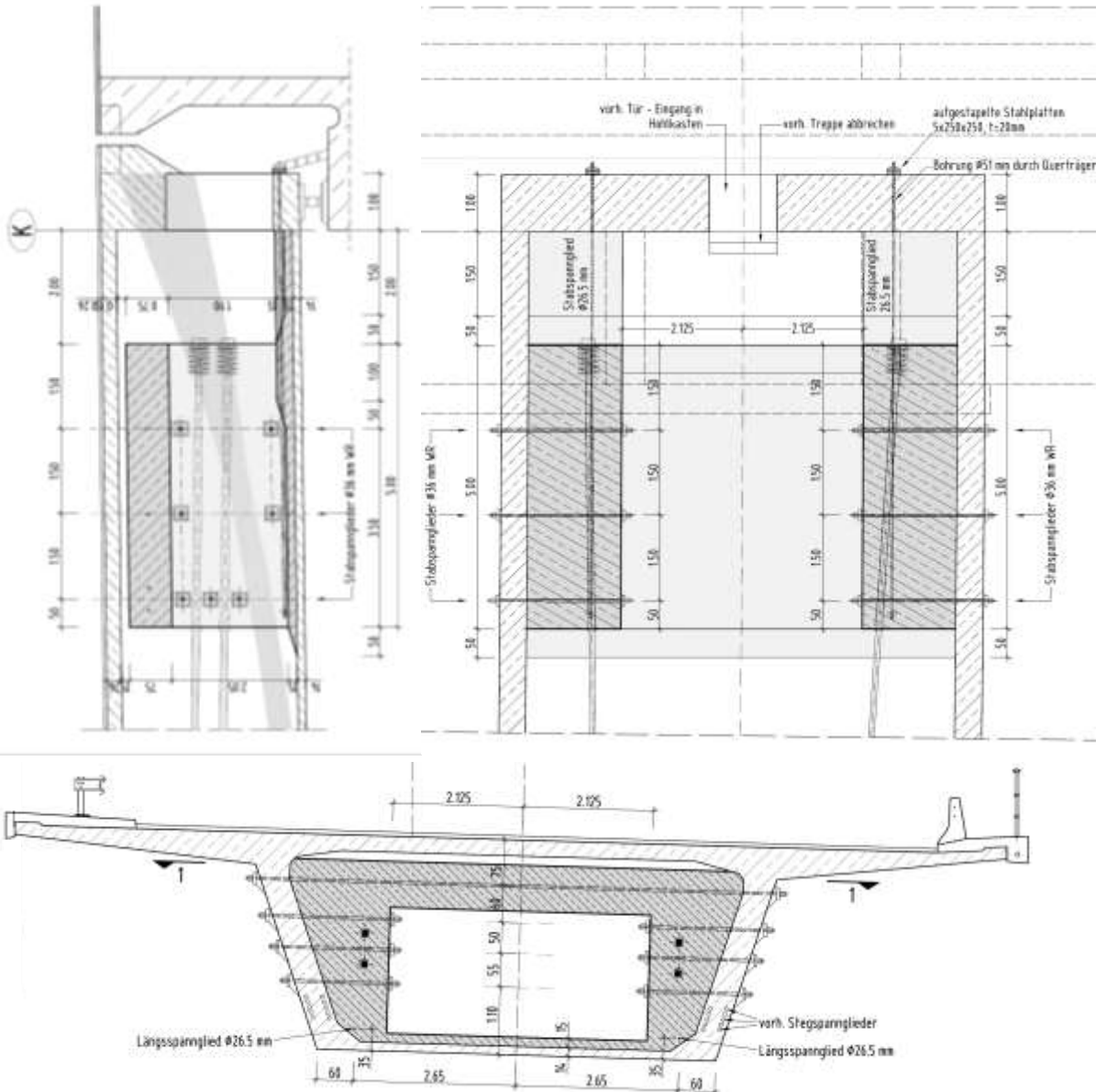


Bild 2: Ankerblöcke (Entwurfsplanung)



Bild 3: Bewehrung der Ankerblöcke zur Verankerung der nachträglich ergänzten Längsspannglieder



Bild 4: Verankerung der nachträglich ergänzten Spannglieder am Endquerträger und Lage im Inneren des Hohlkastens (Endfeld)

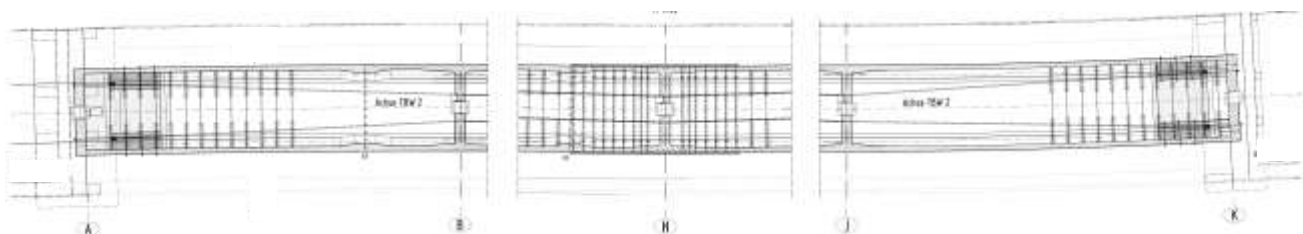
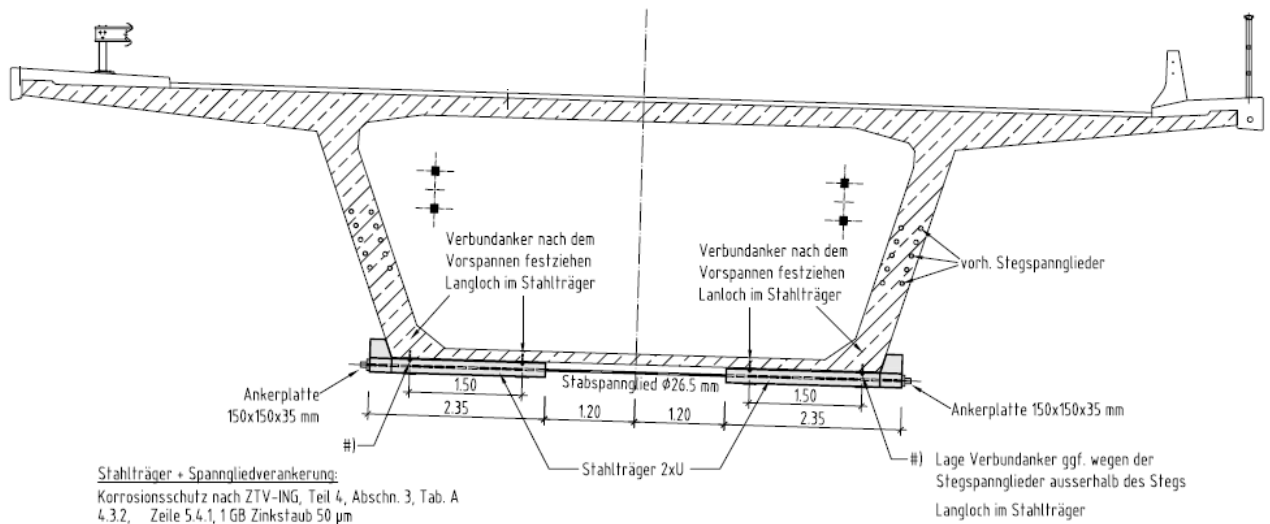


Bild 5: Horizontalschnitt mit Lage der nachträglich ergänzten externen Spannglieder und der Torsionsverstärkung (Entwurfsplanung)



Schnitt durch Träger:

Verankerung Stabspannglied:



Bild 6: Torsionsverstärkung (Entwurfsplanung)



Bild 7: Torsionsverstärkung (Ausführung)

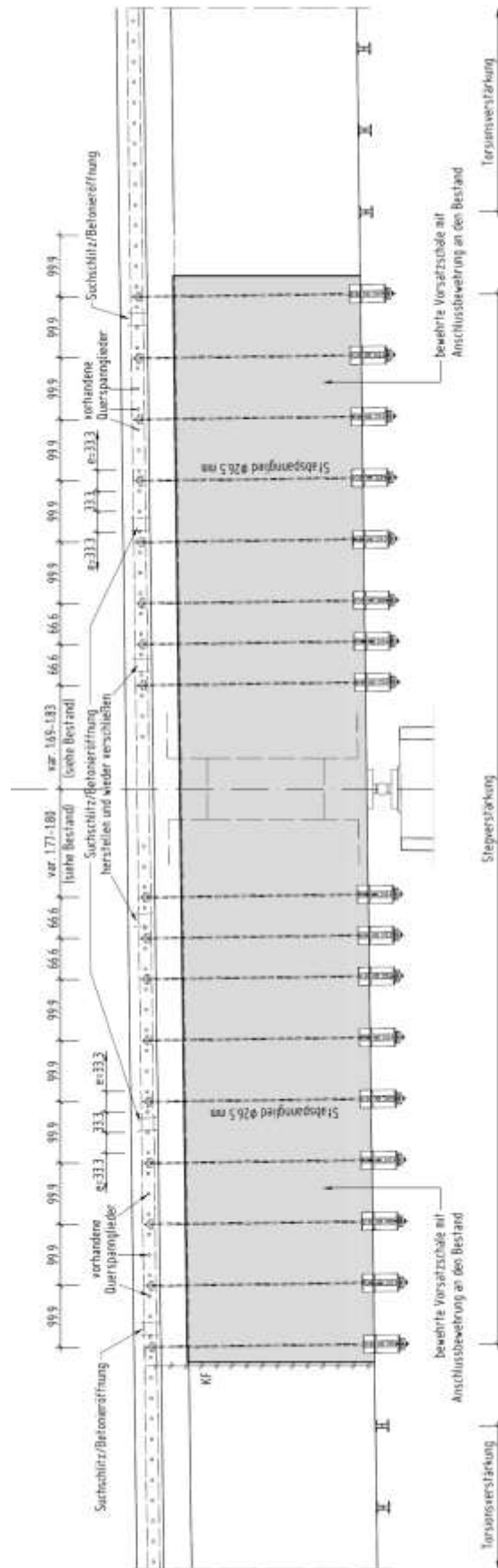
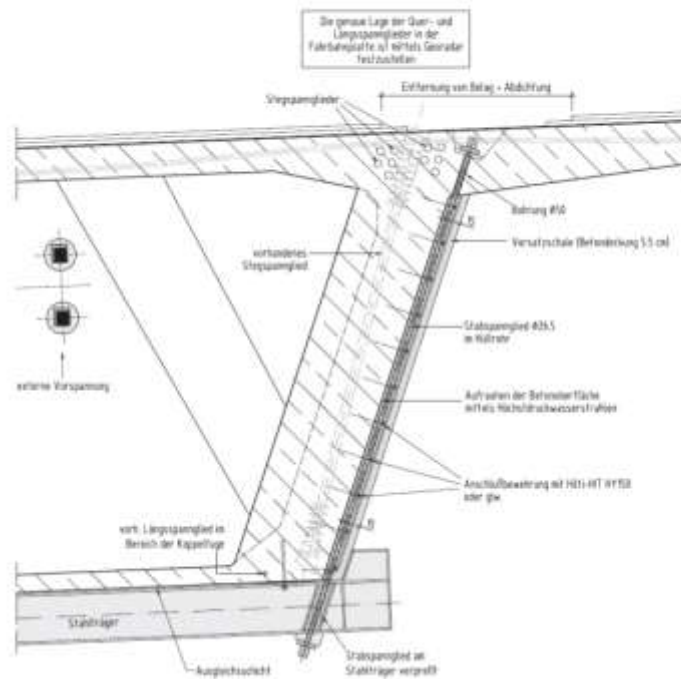


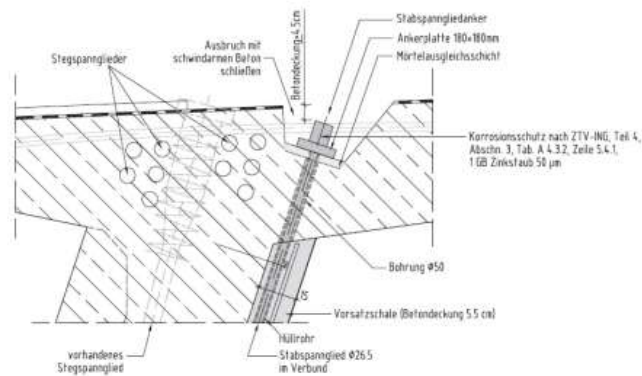
Bild 8: Querkraftverstärkung, Längsansicht (Entwurfsplanung)

QUERSCHNITT HOHLKASTENSTEG - STEGVERSTÄRKUNG



DETAILS STABSPANNGLIED

Verankerung in der Fahrbahnplatte



Verankerung am Stahlträger

Querschnitt Stahlträger

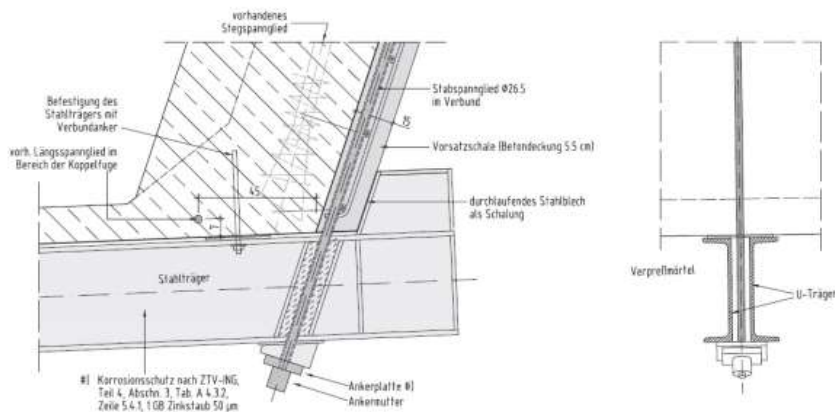


Bild 9: Querkraftverstärkung, Querschnitt und Details (Entwurfsplanung)



Bild 10: Kernbohrungen und Verankerungsdetail in der Fahrbahnplatte der Querkraftverstärkung (Ausführung)



Bild 11: Querkraftverstärkung (Ausführung)

Verstärkung 1.6: Hohlkastenquerschnitt mit zusätzlicher interner, gerader Vorspannung mit nachträglichem Verbund in anbetonierten Balken

Bauwerksdaten

1. Allgemeine Angaben

1.1 Einzel- und Gesamtstützweiten:	38 + 44,25 + 4x47 + 44,25 + 38 = 352,5	m
1.2 Zahl der Felder:	8	
1.3 Breite zwischen den Geländern:	35,5	m
1.4 Brückenfläche:	12.514	m ²
1.5 Bauwerkswinkel:	100	gon
1.6 Brückenklasse (vor der Verstärkung):	BK 60 (DIN 1072)	
1.7 Brückenklasse (nach der Verstärkung):	BK 60/30 (DIN 1072)	
1.8 Baujahr:	1967	
1.9 Baukosten insgesamt:	ca. 8,3 Mio DM \cong 4.243.723	€
1.10 Baukosten bezogen auf Brückenfläche:	ca. 339	€/m ²

2. Angaben zur Konstruktion

2.1 Hauptbaustoff:	Spannbeton
2.2 Bauwerkssystem in Längsrichtung:	Im Grundriss gekrümmter Mehrfeldträger mit Durchlaufwirkung
2.3 Bauwerkssystem in Querrichtung:	Zweizellige Hohlkästen
2.4 System der Lagerung:	Festlager (Linienkipplager) in den Achsen D und E (Bauwerksmitte), längsverschiebliche Lager (Rollenlager) in den restlichen Achsen (bzw. nach Instandsetzung: Verformungslager (Elastomerlager)); querfeste Lager in allen Achsen
2.5 Pfeiler / Stützen:	Rechteckiger Hohlquerschnitt, nach oben verjüngend
2.6 Widerlager:	Winkelstützwände (begehbar)
2.7 Gründung:	Flach-, Pfahl- und Brunnengründung
2.8 Belag, Oberflächen- und Korrosionsschutz:	Epoxidharzversiegelung, im Mittel 7,5 cm Gussasphalt (Schutz- und Deckschicht)

3. Baustoffe

- 3.1 Überbau:** B 300 (entspricht C20/25); Quertäger B 450 (entspricht: C 30/37); Betonstahl: BSt IIIa ($f_{yk} = 400 \text{ N/mm}^2$); Spannstahl längs in den Stegen: St 125/140 ($f_{p0,2k} = 1225 \text{ N/mm}^2$, $f_{pk} = 1370 \text{ N/mm}^2$); Zulagespannglieder längs in Bodenplatte in Feldmitte, längs in Fahrbahnplatte über den Querträgern und in den Querträgern: St 80/105 ($f_{p0,2k} = 780 \text{ N/mm}^2$, $f_{pk} = 1370 \text{ N/mm}^2$); Spannstahl quer in der Fahrbahnplatte: St 135/150 ($f_{p0,2k} = 1320 \text{ N/mm}^2$, $f_{pk} = 1470 \text{ N/mm}^2$)
- 3.2 Pfeiler / Stützen:** B 300 (entspricht C20/25); Pfeilerkopf: B 450 (entspricht C30/37); Betonstahl: BSt IIIb ($f_{yk} = 400 \text{ N/mm}^2$)
- 3.3 Widerlager:** B 300 (entspricht C20/25); Betonstahl: BSt I ($f_{yk} = 220 \text{ N/mm}^2$)

4. Baugrund

-

5. Besondere, für das Verstärkungserfordernis bedeutsame Bauwerks- und Bauteilmerkmale

Neben einem insgesamt schlechten Bauwerkszustand u.a. durch eine zu geringe Betondeckung wurden für das Baujahr typische Defizite im Bereich der Koppelfugen festgestellt.

Angaben zur Art der Verstärkung

- | | |
|--|--|
| 1. Kurzbeschreibung: | Zusätzliche Spannglieder (mit nachträglichem Verbund) in zusätzlich anbetonierten Balken |
| 2. Grund und Ursache bzw. Ziel der Verstärkung: | Schadensbeseitigung, Sicherung der Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit |
| 3. Verstärkte Bauteile: | Gesamtes Bauwerk |
| 4. Verstärkungsanwendung: | Global |
| 5. Kosten der Verstärkungsmaßnahme: | |
| - insgesamt: | ca. 7.000.000 € (inkl. begleitender Maßnahmen) |
| - bezogen auf die Brückenfläche: | ca. 559 €/m ² |
| 6. Zeitraum der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme: | 2003 - 2005 |
| 7.1 Nutzungseinschränkung während der Verstärkungsmaßnahme: | - |
| 7.2 Nutzungseinschränkung nach der Verstärkungsmaßnahme: | Keine |
| 8. Voraussichtliche Nutzungsdauer: | > 30 Jahre |

Ursachen für den Verstärkungsbedarf

Bei der 2001 durchgeführten Hauptprüfung wurden umfangreiche Schäden und Mängel festgestellt, die die Tragfähigkeit und Standsicherheit nicht beeinträchtigten, für die Sicherung der Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit jedoch eine Instandsetzung erforderlich werden ließen.

Aufgrund zu geringer Betondeckung der Bewehrung wurden an vielen Stellen an der Überbauunterseite und im Hohlkasteninneren Betonabplatzungen mit freiliegender, angerosteter Bewehrung, sowie Lunker- und Hohlstellen festgestellt. Vereinzelt waren auch Kiesnester mit zum Teil freiliegender Bewehrung vorhanden. Die Spiralbewehrung im Bereich der Spanngliedköpfe der Querspannglieder an der Kragarmunterseite lag an vielen Stellen frei, sodass diese dort angerostet war. Teilweise war auch die Betonabdeckung der Spanngliedköpfe bei den Zulage-spanngliedern im Hohlkasten in Längsrichtung (in Feldmitte bei der Bodenplatte und über den Querträgern in der Fahrbahnplatte) abgeplatzt und die Spanngliedköpfe angerostet.

An der Überbauunterseite waren Risse verteilt über die gesamte Fläche vorhanden. Insbesondere an den Koppelfugen wurden Risse in der Bodenplatte, den Stegen und teilweise bis in die Kragarme festgestellt. Die Rissbreiten betragen überwiegend 0,2 bis 0,5 mm, teilweise 0,5 bis 1,0 mm. Bei einer Koppelfuge betrug die Rissbreite bis 2,5 mm.

An der Überbauoberseite war die Fahrbahntafel stellenweise mit Chloriden belastet, wobei die Chloridkonzentration unter den tieferliegenden Kappen über dem zulässigen Grenzwert lag.

Bei einer Beurteilung der Dauerhaftigkeit der vorgespannten Bewehrung nach der Handlungsanweisung der Bundesanstalt für Straßenwesen wurden deutliche Überschreitungen der zulässigen Spannungsschwingbreiten in den Spanngliedkopplungen deutlich. Hierdurch wurde eine Verstärkung des Überbaus mit zusätzlicher Längsvorspannung erforderlich.

Beschreibung der Verstärkung

Zur Reduzierung der vorhandenen Schwingbreite in den Koppelfugen sowie zur Erhöhung der Bruchsicherheit in Brückenlängsrichtung wurden je Überbau drei zusätzliche Längsspannglieder mit nachträglichem Verbund (SUSPA 6/19, St 1570/1770) eingebaut. Zur Herstellung des nachträglichen Verbundes wurden zusätzliche Balken (b/h = 40/50 [cm]) auf der Bodenplatte im Anschnitt zu den Stegen ergänzt, die mit dem Bestand über Dübel schubfest verbunden wurden (Bilder 1 und 2).

Zusätzlich zur Verstärkung mit zusätzlicher Vorspannung wurden Maßnahmen zur grundhaften Instandsetzung der Brücke ausgeführt. Diese werden nachstehend auszugsweise erläutert.

Die durch die gesamte Bauteildicke gehenden Risse im Bereich der Koppelfugen wurden von innen mit einer Epoxidharzinjektion verpresst. Die Verstärkung des Überbaus durch den Einbau von zusätzlichen Längsspanngliedern führt zu einer Reduzierung der vorhandenen Schwingbreite an den Koppelfugen, sodass die

verpressten Risse an den Koppelfugen geschlossen bleiben und nicht wieder aufreißen.

Im Bereich der festgestellten Schadstellen erfolgte eine Betonabbruch mit Hochdruckwasserstrahlen und eine anschließende Instandsetzung. Zudem erfolgte eine Erneuerung des Fahrbelages und der Abdichtung. Die instandgesetzte und vorbereitete Überbauoberseite wurde mit einer Dichtungsschicht aus einer Lage Bitumenschweißbahn abgedichtet und mit Epoxidharz versiegelt. Im Fahrbahnbereich wurde ein Fahrbelag bestehend aus einer 3,5 cm starken Gussasphalt-Schutzschicht und einer 4 cm starken Gussasphalt-Deckschicht hergestellt. Die Bereiche der Koppelfugen wurden mit einem zusätzlichen, ca. 30 cm breiten edelstahlkaschierten Bitumenschweißbahnstreifen gesondert abgedichtet.

Auf der gesamten Überbauunterseite wurde zur Erhöhung der Betondeckung eine 2 cm dicke Spritzmörtelschicht aus SPCC und ein Oberflächenschutzsystem aufgetragen. Hierfür wurde

die Betonoberfläche durch Strahlen mit festen Strahlmitteln vorbereitet.

Zusätzlich wurde die Entwässerung und die Übergangskonstruktionen an den Widerlagern erneuert sowie die Rollenlager durch Verfor-

mungslager (Elastomerlager) ersetzt. Betonschadstellen an Unterbauten wurden gemäß ZTV-SIB beseitigt und sämtliche Betonflächen der Unterbauten erhielten ein Oberflächenschutzsystem.

Folgerungen

Die Tragfähigkeit der Koppelfugen konnte durch den Einbau von je drei zusätzlichen Längsspanngliedern je Überbau gewährleistet werden.

Die zusätzliche Vorspannung führt zu einer Reduzierung der vorhandenen Schwingbreite an den Koppelfugen auf zulässige Werte.

Bilder und Bauwerksskizzen



Bild 1: Zusätzliches Längsspannglied in anbetoniertem Balken (Ausführung)

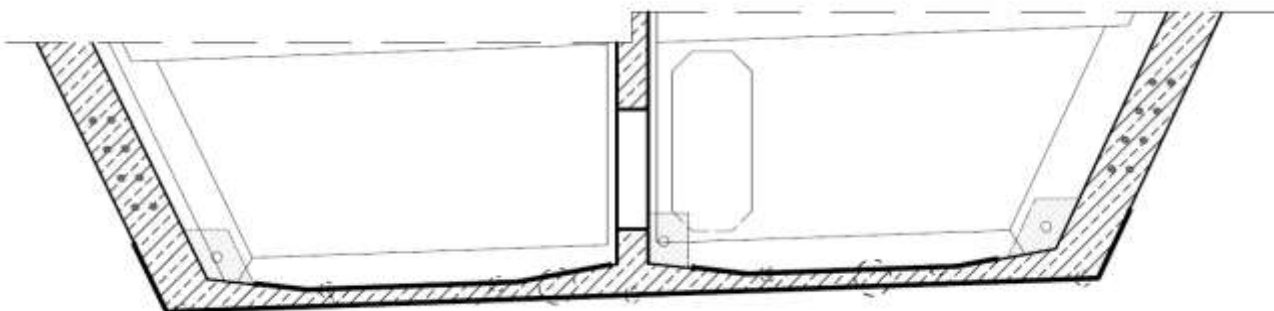


Bild 2: Lage der zusätzlichen Balken im Querschnitt

Verstärkungstechnik:	1. Zusätzliche Vorspannung	Lfd. Nr.:	1.7	Blatt:	1
Verstärkung 1.7:		Hohlkastenquerschnitt mit zusätzlicher externer und interner polygonaler Vorspannung			
Bauwerksdaten					
1. Allgemeine Angaben					
1.1	Einzel- und Gesamtstützweiten:	$32 + 7 \times 38 + 32 = 330$		m	
1.2	Zahl der Felder:	9			
1.3	Breite zwischen den Geländern:	$2 \times 14,98 = 29,96$		m	
1.4	Brückenfläche:	$2 \times 4950 = 9900$		m ²	
1.5	Bauwerkswinkel:	100		gon	
1.6	Brückenklasse (vor der Verstärkung):	BK 60 (DIN 1072)			
1.7	Brückenklasse (nach der Verstärkung):	BK 60 (DIN 1072)			
1.8	Baujahr:	1969			
1.9	Baukosten insgesamt:	9.015.000 DM \approx 4.609.296		€	
1.10	Baukosten bezogen auf Brückenfläche:	ca. 466		€/m ²	
2. Angaben zur Konstruktion					
2.1	Hauptbaustoff:	Spannbeton			
2.2	Bauwerkssystem in Längsrichtung:	Im Grundriss gekrümmter Mehrfeldträger mit Durchlaufwirkung (Klothoide mit $A = 800$ m)			
2.3	Bauwerkssystem in Querrichtung:	Hohlkasten			
2.4	System der Lagerung:	Gleitlager mit Topflager einachsrig bzw. allseits beweglich auf Widerlagern in den Achsen 0 und 9; Linienkipplager in den Achsen 3 bis 6; Rollenlager auf Stützen in Achsen 1, 2, 7 und 8; querfeste Lager in allen Achsen			
2.5	Pfeiler / Stützen:	Hohlquerschnitt			
2.6	Widerlager:	Stahlbetonwiderlager mit begehbare Kammer			
2.7	Gründung:	Flachgründungen in den Achsen 7 und 8; restliche Achsen Pfahlgründung			
2.8	Belag, Oberflächen- und Korrosionsschutz:	Vor Sanierung: Trennschicht mit Rohglasvlies, Mastixdichtung, Gussasphalt (3 + 3,5 cm); Nach Sanierung: Grundierung mit Epoxidharz, einlagige Bitumendichtungsbahn, Gussasphalt			
3. Baustoffe					
3.1	Überbau:	B 450 (entspricht C30/37); Betonstahl BSt 42/50 RK (III K) ($f_{yk} = 420$ N/mm ²); Spannstahl längs in Hohlkastenstegen ($f_{p0,2k} = 1450$ N/mm ² , $f_{pk} = 1600$ N/mm ²); Spannstahl quer in Fahrbahnplatte ($f_{p0,2k} = 800$ N/mm ² , $f_{pk} = 1050$ N/mm ²)			
Bund/Länder Dienstbesprechung Brücken- und Ingenieurbau			Erfahrungssammlung „Verstärkung von Betonbrücken“		57

- 3.2 Pfeiler / Stützen:** B 450 (entspricht C30/37); Betonstahl BSt 42/50 RK (III K) ($f_{yk} = 420\text{N/mm}^2$)
- 3.3 Widerlager:** B 300 (entspricht C20/25); Betonstahl BSt 42/50 RK (III K) ($f_{yk} = 420\text{N/mm}^2$)
- 4. Baugrund** Lehm, Ton, Kalkstein mit Ton, Kalkstein

5. Besondere, für das Verstärkungserfordernis bedeutsame Bauwerks- und Bauteilmerkmale

Der Beton B 450 des Bauwerks wurde mit Zuschlagmaterial aus dem Maintal hergestellt. Er enthält einen hohen Anteil an Buntsandsteinkieseln (rot) und ist augenscheinlich relativ porös.

Die Brückenmitte liegt in der Nähe des Tiefpunktes einer Wanne, sodass im überwiegenden Bereich geringes Längsgefälle vorhanden ist und ein enger Abstand der Entwässerungseinläufe von ca. 5,40 m erforderlich war. Die Entwässerung erfolgte über LNA-Rohre $\varnothing 100$ mit einer Muffenabdichtung aus einem Kunststoffprofil mit Dichtlippen, die offensichtlich eine dauerhafte Abdichtung nicht gewährleisten und zudem an einigen Stellen unsachgemäß eingebaut waren.

Angaben zur Art der Verstärkung

- 1. Kurzbeschreibung:** Zusätzliche polygonale Vorspannung: TBW 1: interne Vorspannung; TBW 2: interne und externe Vorspannung; Betoninstandsetzung
- 2. Grund und Ursache bzw. Ziel der Verstärkung:** Korrodierte und teils gebrochene Drähte an den Längsspanngliedern infolge hoher Chloridbelastung und undichter Entwässerung
- 3. Verstärkte Bauteile:** Überbau
- 4. Verstärkungsanwendung:** Global
- 5. Kosten der Verstärkungsmaßnahme:**
- insgesamt: Ca. 2.400.000 DM \approx 1.227.101 € (inklusive begleitende Maßnahmen)
 - bezogen auf die Brückenfläche: ca. 124 €/m²
- 6. Zeitraum der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme:** 1998
- 7.1 Nutzungseinschränkung während der Verstärkungsmaßnahme:** -
- 7.2 Nutzungseinschränkung nach der Verstärkungsmaßnahme:** Keine
- 8. Voraussichtliche Nutzungsdauer:** Dauerhaft

Ursachen für den Verstärkungsbedarf

Bei einer Brückenkontrolle wurden undichte Entwässerungsanschlüsse und ein hohlklingender Bereich im nördlichen Überbau (TBW 2) festgestellt. Nach Freilegen des hohlklingenden Bereiches bis auf 50 % des Querschnittes zeigte

sich, dass die Bewehrungsstäbe und vier Längsspannglieder in diesem Bereich abgerostet waren (Bild 2). Dabei waren an der Schadensstelle 12 Drähte $\varnothing 12$ mm des vergüteten Spannstahls spröde gebrochen (Bild 3).

Probenentnahmen ergaben eine hohe Chloridbelastung der Brücke, die offensichtlich von den undichten Muffen der Entwässerung herrührte.

Im südlichen Überbau (TBW 1) wurde neben Bewehrungsabrostungen (Bild 4) und ebenfalls hohen Chloridkonzentrationen nur an einer Stelle leichte Korrosion an einem Hüllrohr mit geringer Chloridbelastung im Verpressmörtel festgestellt.

Die Schadensursache lag in der Kombination der undichten Muffenverbindungen der LNA-Entwässerungsrohre und den ungünstigen

Betoneigenschaften. Die hohe Porösität des Zuschlagmaterials führte offensichtlich dazu, dass der Beton Chloride in hohem Maße speichern konnte. Die im Winter eingetragenen Chloride wurden wegen der undichten Entwässerung im Sommer nicht ausgeschwemmt, sondern stiegen durch die Verdunstung des Tropfwassers von Jahr zu Jahr an. Infolge der Abplatzungen durch die Korrosion der Bewehrung drangen die Chloride bis zu den Spanngliedern vor.

Beschreibung der Verstärkung

Zur Verminderung weiterer Korrosionsschäden wurde der stark chloridbelastete Beton entfernt und durch Spritzbeton ersetzt. Entsprechend der vorgefundenen hohen Chloridgehalte wurde am Steg und der Bodenplatte der belastete Beton in einem Streifen von 0,6 bis 1,5 m Breite und 0,1 bis 0,15 m Tiefe mittels Hochdruckwasserstrahlen entfernt und nach dem Ersetzen von abgerosteter Bewehrung durch Spritzbeton reprofiliert. Die Entwässerung wurde grundlegend erneuert.

Außerdem mussten die Überbauten durch zusätzliche Spannglieder so verstärkt werden, dass die vorgefundenen Spanndrahtbrüche zusammen mit möglichen zukünftigen Brüchen sicher ausgeglichen werden konnten. Als zusätzliche Vorspannung wurde an dem betroffenen Steg im nördlichen Überbau (TBW 2) auf ganzer Länge – mit einem Übergreifungs-

stoß in Achse 5 – ein Spannglied ohne Verbund mit polygonalem Spanngliedverlauf eingebaut. An der Schadensstelle im Bereich zwischen den Achsen 2 und 3 wurden zusätzlich zwei Spannglieder mit nachträglichem Verbund in einem zusätzlichen Betonquerschnitt ergänzt (Bilder 5, 6, 8 und 9).

Im südlichen Überbau (TBW 1) wurde nur im Schadensbereich der betroffene Steg zwischen den Achsen 2 und 3 durch drei polygonal geführte Spannglieder mit nachträglichem Verbund verstärkt (Bilder 5, 7 und 8).

Zur Umlenkung der Spannglieder mussten entsprechende Rippen angeordnet werden. Sie wurden in Ortbeton hergestellt und mit dem Steg und der Bodenplatte durch Anschlussbewehrung verbunden, die im bestehenden Überbau in Bohrungen durch Zweikomponentenkunstharz verankert wurden.

Folgerungen

Besonders bei ungünstigen Betonzusammensetzungen, wie sie beim verwendeten Mainmaterial gegeben sind, sind die Entwässerungsleitungen auf Undichtigkeiten sorgfältig zu überprüfen. Undichtigkeiten sind umgehend zu

beseitigen. Veraltete, nicht dauerhaft dichte Systeme sind frühzeitig zu ersetzen.

Durch die beschriebenen Instandsetzungsmaßnahmen wurden die entstandenen Schäden erfolgreich beseitigt.

Bilder und Bauwerksskizzen



Bild 1: Bauwerkssystem in Längsrichtung



Bild 2: Freigelegte Spannglieder (Überbau Nord, TBW 2), leichte Korrosion



Bild 3: Schadensstelle Überbau Nord (TBW 2)



Bild 4: Schadensstelle Überbau Süd (TBW 1)

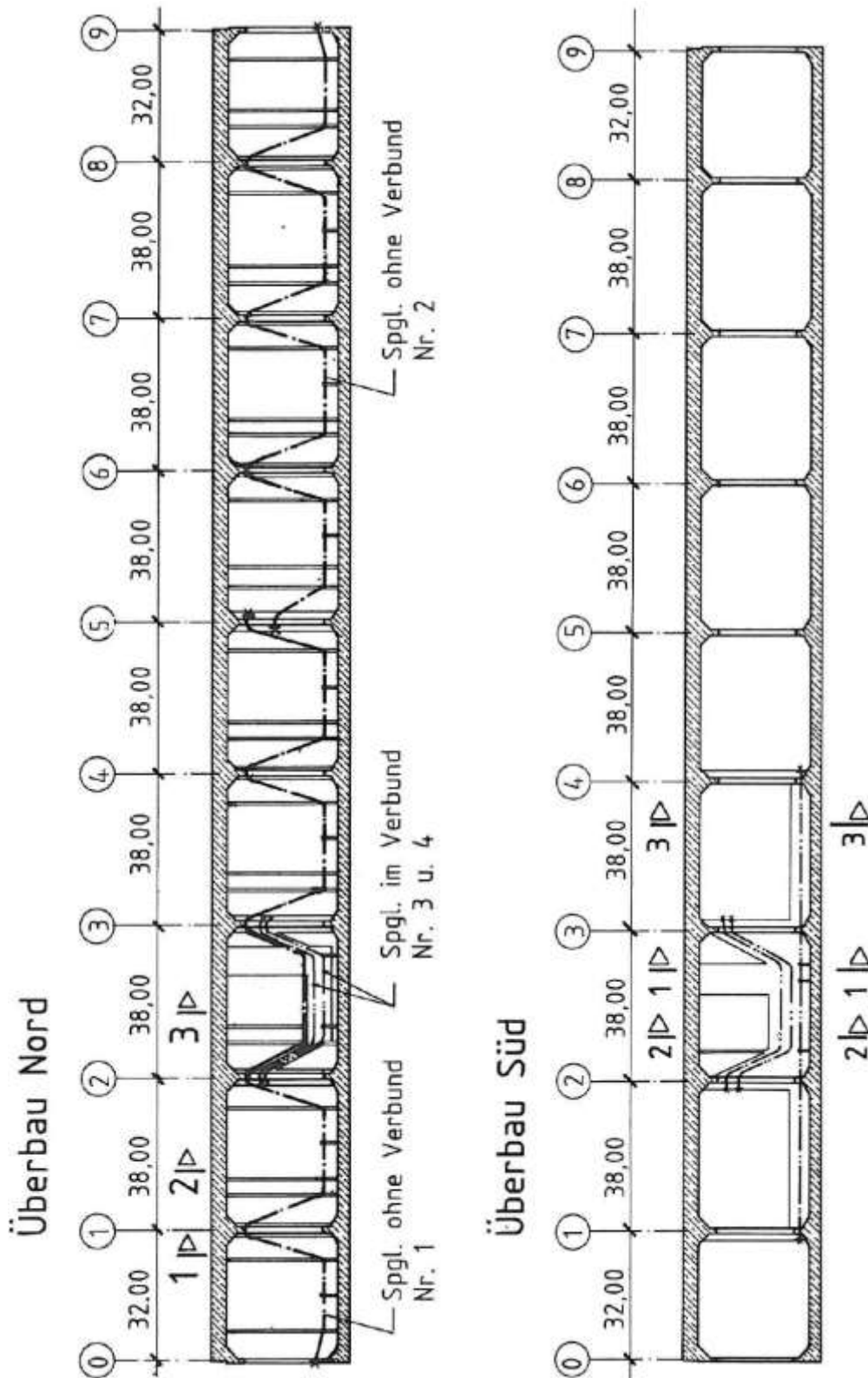


Bild 5: Längsschnitt Überbau Nord (TBW 2) und Süd (TBW 1)

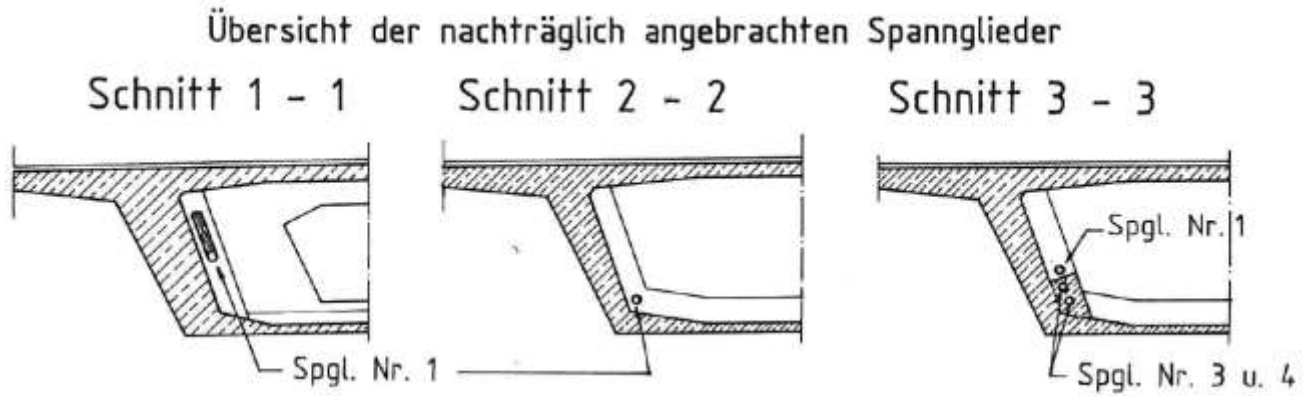


Bild 6: Querschnitt Überbau Nord (TBW 2)

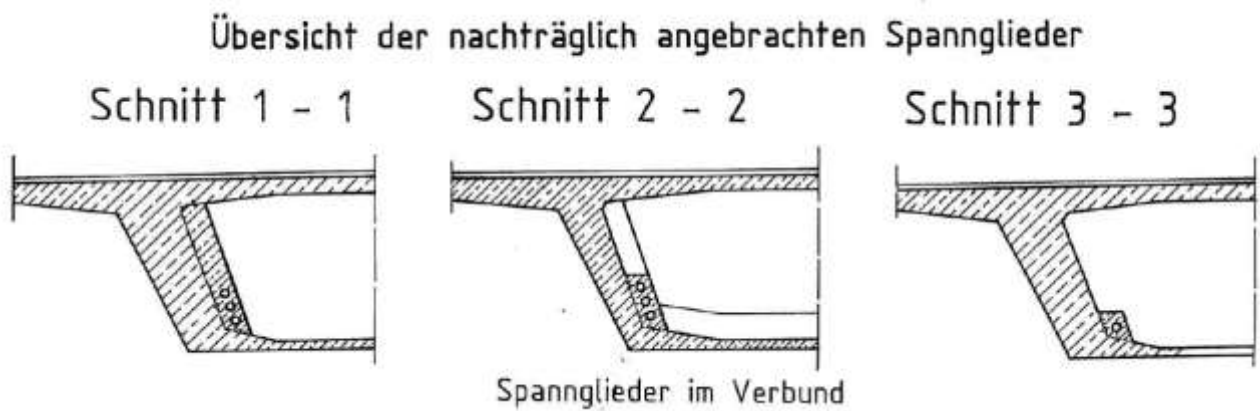


Bild 7: Querschnitt Überbau Süd (TBW 1)

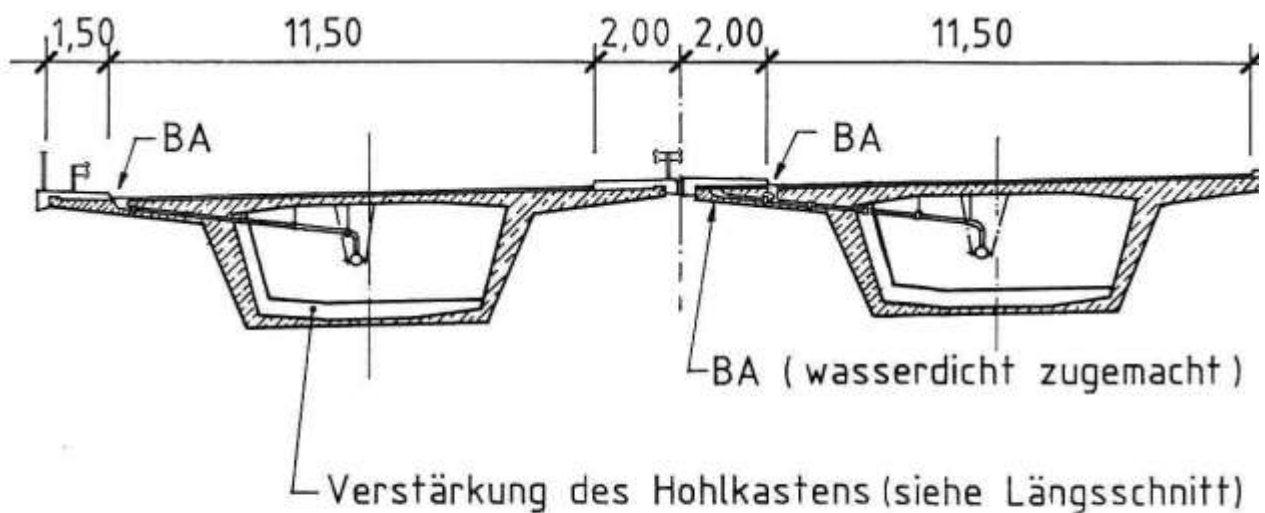


Bild 8: Querschnitt nach Ertüchtigung (links: Überbau Nord / TBW 2; rechts: Überbau Süd / TBW 1)



Bild 9: Verstärkter Steg nach Sanierung und Querrippe für Umlenkung. Längsrippe für Spannglieder im Verbund; auf oberer Seite Längsrippe Spannglied ohne Verbund

Verstärkung 1.8: **Hohlkastenquerschnitt mit zusätzlicher externer polygonaler und interner parabel-förmiger Vorspannung und Querkraftverstärkung mit Stabspanngliedern und Schublaschen zur Erweiterung der Brücke um eine 5. Fahrspur**

Bauwerksdaten

1. Allgemeine Angaben

1.1 Einzel- und Gesamtstützweiten:	32,75 + 45,80 + 41,05 = 119,60	m
1.2 Zahl der Felder:	3	
1.3 Breite zwischen den Geländern:	16,85	m
1.4 Brückenfläche:	2015	m ²
1.5 Bauwerkswinkel:	93	gon
1.6 Brückenklasse (vor der Verstärkung):	BK 60/30 (DIN 1072)	
1.7 Brückenklasse (nach der Verstärkung):	BK 60/30 (DIN 1072)	
1.8 Baujahr:	1988	
1.9 Baukosten insgesamt:	4.149.000 DM \approx 2.121.350	€
1.10 Baukosten bezogen auf Brückenfläche:	1053	€/m ²

2. Angaben zur Konstruktion

2.1 Hauptbaustoff:	Spannbeton
2.2 Bauwerkssystem in Längsrichtung:	Im Grundriss gekrümmter Mehrfeldträger mit Durchlaufwirkung (R < 500 m)
2.3 Bauwerkssystem in Querrichtung:	Mehrzelliger Hohlkasten
2.4 System der Lagerung:	Bewegliche Lagerung (Elastomerlager)
2.5 Pfeiler / Stützen:	Rundstütze
2.6 Widerlager:	Kastenförmig
2.7 Gründung:	Flachgründung
2.8 Belag, Oberflächen- und Korrosionsschutz:	Dichtungsschicht, 4,5 cm Splittmastixasphalt

3. Baustoffe

3.1 Überbau:	Bn 450 (entspricht C35/45); Betonstahl BSt 500 S (IV S) ($f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$); Spannstahl längs in Hohlkastenstegen und quer in Fahrbahnplatte: St 1570/1770 ($f_{p0,2k} = 1570 \text{ N/mm}^2$, $f_{pk} = 1770 \text{ N/mm}^2$)
3.2 Pfeiler / Stützen:	Bn 350 (entspricht C25/30), Pfeilerknoten: Bn 450 (entspricht C35/45); Betonstahl BSt 500 S (IV S) ($f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$)

3.3 Widerlager: Bn 250 (entspricht C20/25); Betonstahl BSt 500 S (IV S) ($f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$)

4. Baugrund Granit / Gneis

5. Besondere, für das Verstärkungserfordernis bedeutsame Bauwerks- und Bauteilmerkmale

Im Zuge der Verstärkung wird der Überbau um eine Fahrspur erweitert (vorher Geh- und Radweg).

Angaben zur Art der Verstärkung

- | | |
|--|--|
| 1. Kurzbeschreibung: | Zusätzliche Vorspannung bereichsweise extern, polygonal und bereichsweise intern, parabelförmig, zusätzlicher Stahlbetonbalken (SV-Beton), Querkraftverstärkung mit Stabspanngliedern und Schublaschen |
| 2. Grund und Ursache bzw. Ziel der Verstärkung: | Traglasterhöhung: Bau einer zusätzlichen Fahrspur im Bereich des ehemaligen Fuß-/Radweges |
| 3. Verstärkte Bauteile: | Verstärkung des Überbaus in Längsrichtung mit zusätzlichen Spanngliedern (extern und intern) / Verstärkung der Hohlkastenstege durch Stabspannglieder und Schublaschen |
| 4. Verstärkungsanwendung: | Global (Vorspannung) und lokal (Stegverstärkung) |
| 5. Kosten der Verstärkungsmaßnahme: | |
| - insgesamt: | 153.374 € |
| - bezogen auf die Brückenfläche: | 76 €/m ² |
| 6. Zeitraum der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme: | 2005 (6 Monate) |
| 7.1 Nutzungseinschränkung während der Verstärkungsmaßnahme: | Umleitung des Schwerlastverkehrs |
| 7.2 Nutzungseinschränkung nach der Verstärkungsmaßnahme: | Keine |
| 8. Voraussichtliche Nutzungsdauer: | Dauerhaft |

Ursachen für den Verstärkungsbedarf

Die Brücke wurde durch den Rückbau der Geh- und Radwege um eine zusätzliche Fahrspur erweitert. Um die dadurch steigenden Verkehrs-

belastungen abtragen zu können, wurden umfangreiche Verstärkungsmaßnahmen notwendig.

Beschreibung der Verstärkung

Zur Erweiterung der Brücke um die 5. Fahrspur anstelle des Geh- und Radweges wurde der Steg an der Westseite durch einen zusätzlichen Längsbalken an der Hohlkastenaußenseite verbreitert und durch zusätzliche verbundlose Vorspannung (abschnittsweise intern bzw. extern) verstärkt. Der Steg an der Ostseite wurde mittels zusätzlicher Querkraftbewehrung in Form von Stabspanngliedern und Schublaschen verstärkt. Im Folgenden werden die Vorgehensweisen im Zuge der Verstärkungsanwendungen erläutert.

Zur Verbreiterung und Verstärkung des Steges an der Westseite (Bilder 1 bis 6) wurden in der 1. Bauphase zunächst vorbereitende Maßnahmen durchgeführt. Die Seitenflächen des Bestandssteges und die Kragarmuntersicht im Bereich der Stegverbreiterung wurden zur besseren Schubübertragung bis zu einer Rautiefe von mindestens 5 mm aufgeraut und das Korngerüst im Bereich der Achsen 10 und 20 freigelegt. Zusätzlich wurde die Stegergänzung über eine Anschlussbewehrung mit dem Bestandssteg verbunden. Zum Einringen des Betons wurden Betonieröffnungen mit einem Durchmesser von ca. 25 cm im Abstand von ca. 5 m in den bestehenden Fahrbahnplattenkragarm mit HDWS unter Beachtung der Querspannglieder hergestellt (Bild 2).

Im Bereich des südlichen Widerlagers in Achse 10 wurden die Übergangskonstruktion, die Widerlagerwand, der vordere Brückenbereich und die Seitenkammer des Widerlagers im Bereich der Stegverbreiterung mit einem Hochdruck-Wasserstrahl unter Erhalt der Bewehrung ausgebrochen. Anschließend wurden auch hier wie in den übrigen Bereichen die Stegseitenflächen aufgeraut und Bewehrungsanschlüsse gebohrt und gesetzt (Bild 4).

Im Bereich der Achse 30 wurden zwei Bauabschnitte vorgesehen (Bild 7). Zuerst wurde der Beton im Bauabschnitt I mit HDWS unter Erhalt der Bewehrung ausgebrochen. Anschließend wurde ein Schutzrohr eingebaut und Bauabschnitt I wieder zubetoniert. Nach der Erhärtung des Betons in Bauabschnitt I wurde anschließend auch der Bauabschnitt II mit HDWS ausgebrochen, die Kontaktfugen zwischen Verankerungsbalken und Bestand aufgeraut und an den Stegseitenflächen das Korngerüst freigelegt.

In der zweiten Bauphase wurden schließlich Bewehrung und Spannglieder eingebaut, wobei darauf zu achten war, dass die Spannglieder an den Umlenkhalbschalen im Feld 2 und in Achse 30 tangential anlagen. Im Bereich zwischen den Achsen 20 und 30 wechselt die Spanngliedführung von der parabelförmigen Führung in der Stegverbreiterung zur polygonalen Führung im Inneren einer bestehenden Hohlkammer (Bild 8). Die Durchführung durch den Randsteg wurde geschlossen, der Querträgerbereich in Achse 30 (Bauabschnitt II) wurde zubetoniert, die Stegverbreiterung wurde mit selbstverdichtendem Beton betoniert, und der Verankerungsbalken in Achse 30 wurde erstellt. Nach dem Erhärten des Verankerungsbalkens wurden die Spannglieder gemäß Spannanweisung vorgespannt. Abschließend wurde die Übergangskonstruktion unter Erhalt der bestehenden Bewehrung erneuert.

Der Einbau der Querkraftverstärkung des östlichen Steges (Bilder 9 und 10) zwischen den Achsen 10 und 20 erfolgte in mehreren Schritten. Zunächst wurde die Lage der vorhandenen Querspannglieder und der Betonstahl-Querbewehrung durch Suchschlitze im Stegbereich erkundet (Länge und Abstand der Suchschlitze ca. 1 m, ggf. dichter). Hierbei war darauf zu achten, die Betonstahlbewehrung und die Hüllrohre der Querspannglieder nicht zu beschädigen und ein Eindringen von Wasser in die Hüllrohre unbedingt zu vermeiden. Anschließend wurden die Aussparungen für die oberen Ankerplatten erstellt, wobei die vorhandene Betonstahlbewehrung nicht beschädigt werden durfte. Wenn die gesamte Verankerung nicht innerhalb der Betondeckung Platz hatte, wurden die Ankerplatten zwischen die Betonstahlquerbewehrung entsprechend tiefer angeordnet. Hierzu mussten die Achsen der Gewindestäbe in Brückenlängsrichtung gegebenenfalls entsprechend verschoben werden. Nach Herstellung der Bohrungen in Fahrbahn- und Bodenplatte wurden die Abstände der unteren Bohrungen von der Stegaußenkante für die Herstellung der Verstärkungsbügel (gekrümmte Schublaschen) ermittelt. Anschließend wurden Aussparungen für die unteren Ankerplatten erstellt, die Hohlkastenaußenkante abgerundet und die Betonoberfläche für den späteren Auftrag von Spritzbeton durch kuppenartiges Freilegen des Grobkorns gemäß

ZTV-ING vorbereitet. Anschließend wurden die insgesamt 67 Verstärkungsbügel bestehend aus Stabspanngliedern und gekrümmten Schublaschen mit Abständen von 20 bis 80 cm eingebaut (Bilder 9 und 10). Dabei war darauf zu achten, dass der Ankerkeil und der untere Flachstahlschenkel einschließlich der Rundung satt am Bestandssteg anlag. Dies konnte durch Einsetzen in ein Mörtelbett oder nachträglichen Verguss erfolgen. Der Verguss der unteren und oberen Bohrungen und das Untergießen der

Ankerplatten und Ankerkeile erfolgte mit schwindfreiem Vergussmörtel. Nach der Erhärtung des Vergussmörtels wurden die Verstärkungsbügel in Stufen von 50 % der Vorspannkraft abwechselnd jeweils innen und außen vorgespannt. Abschließend wurden die Ausbruchöffnungen mit schwindfreiem Beton geschlossen, die Stahlflächen für einen ausreichenden Haftverbund vorbereitet und der Spritzbeton aufgebracht. Für die Verstärkung wurde eine Zustimmung im Einzelfall erwirkt.

Folgerungen

Durch Rückbau der Geh- und Radwege und der beschriebenen Verstärkung konnte eine weitere Fahrspur eingerichtet werden.

Bilder und Bauwerksskizzen

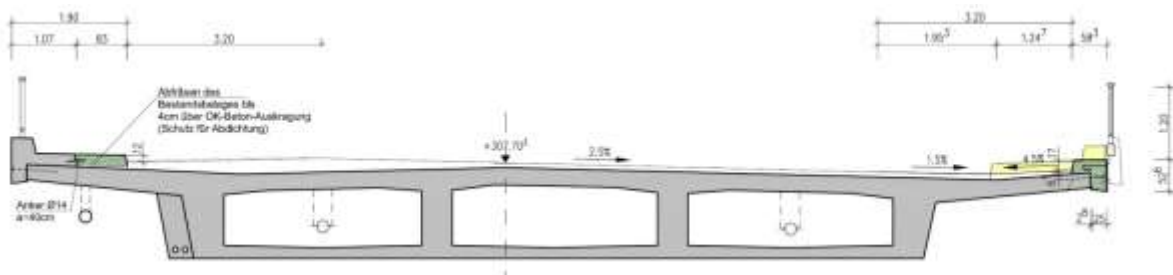


Bild 1: Querschnitt der Brücke nach Verstärkung

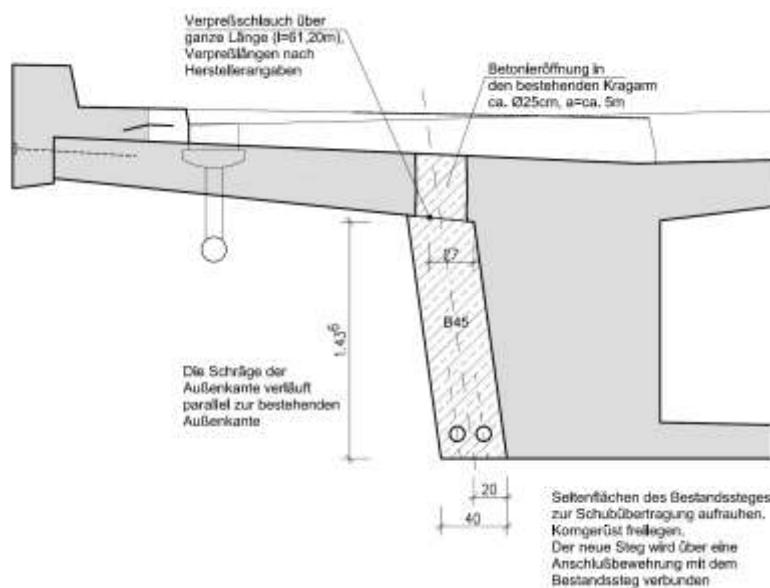


Bild 2: Querschnittsergänzung Steg

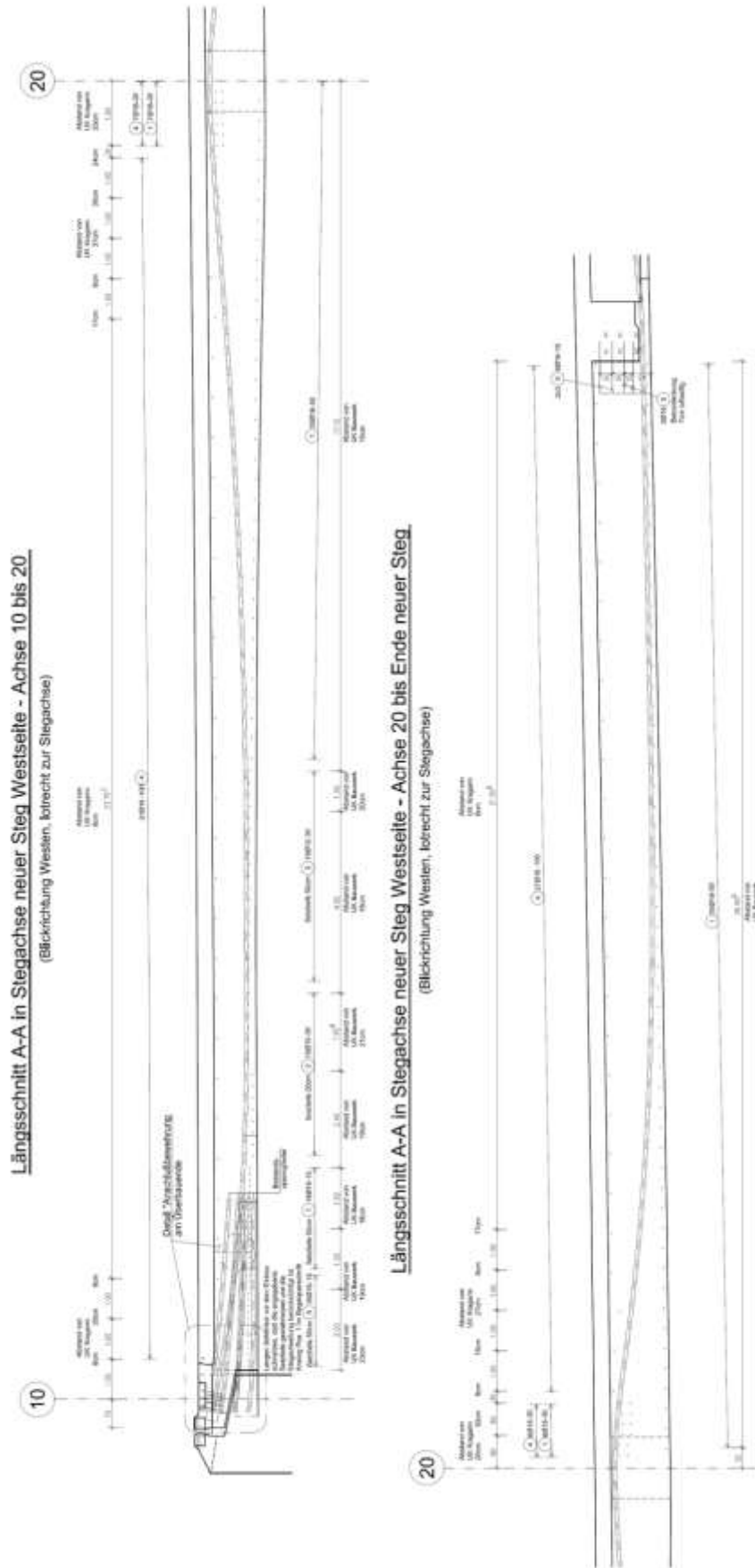


Bild 3: Übersicht Verstärkung Querschnittsergänzung Stieg Westseite im Längsschnitt

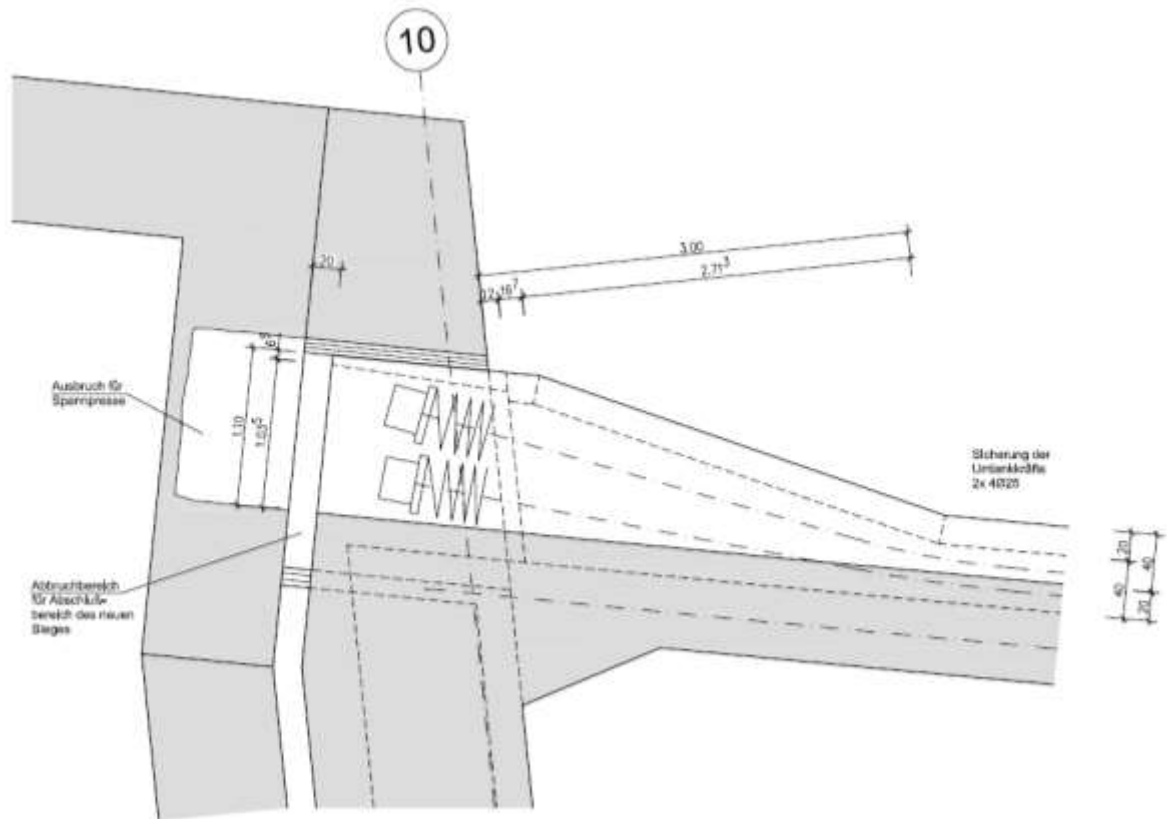


Bild 6: Detail der Aufweitung der Querschnittsergänzung am Steg Westseite am Widerlager

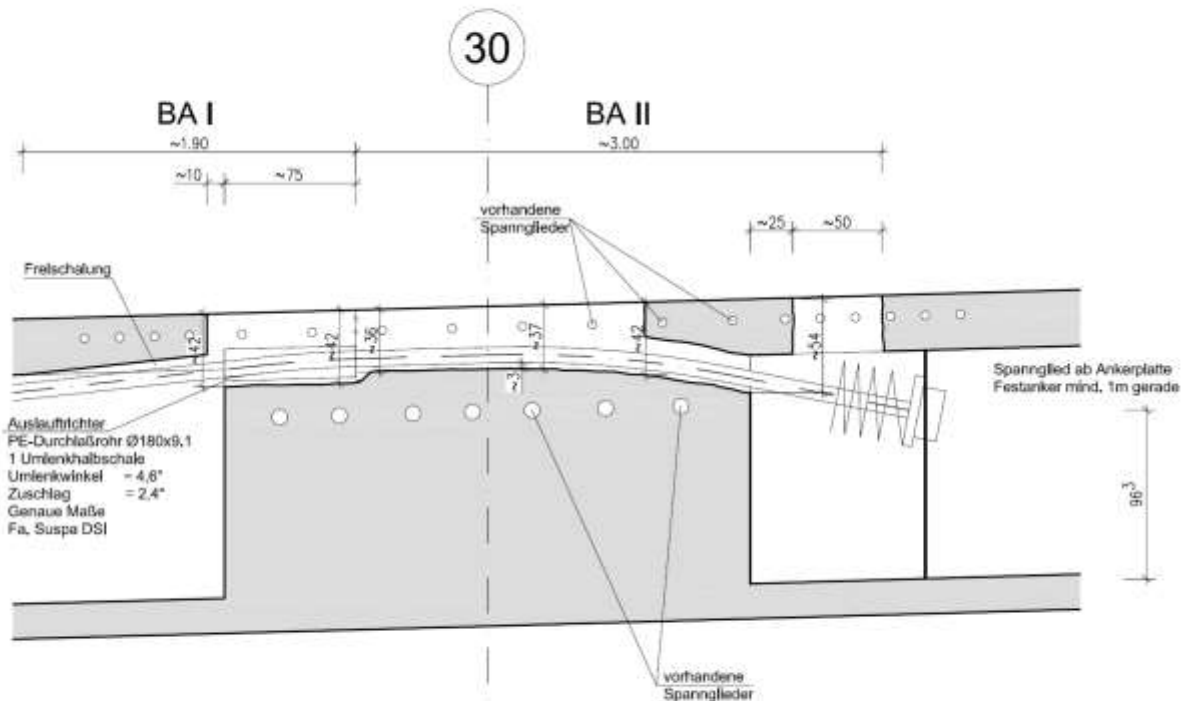


Bild 7: Längsschnitt in Stegachse der Querschnittsergänzung Steg Westseite bei Spanngliederverankerung in Achse 30

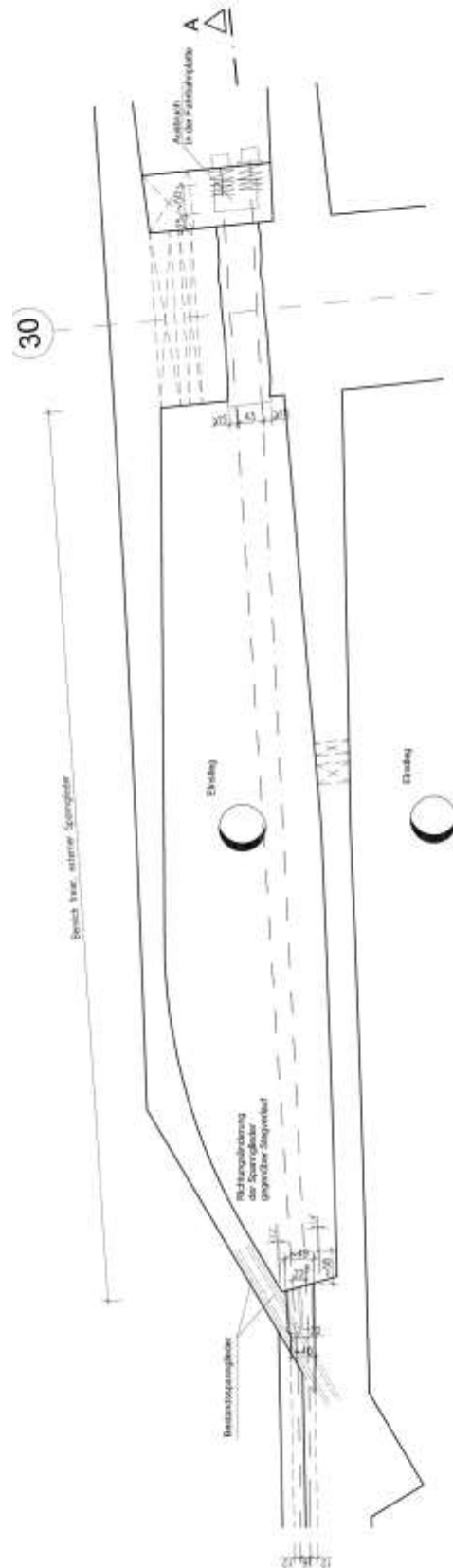


Bild 8: Grundriss am Querträger im Bereich der Führung der zusätzlichen Spannglieder als externe Spannglieder in Hohlkammer

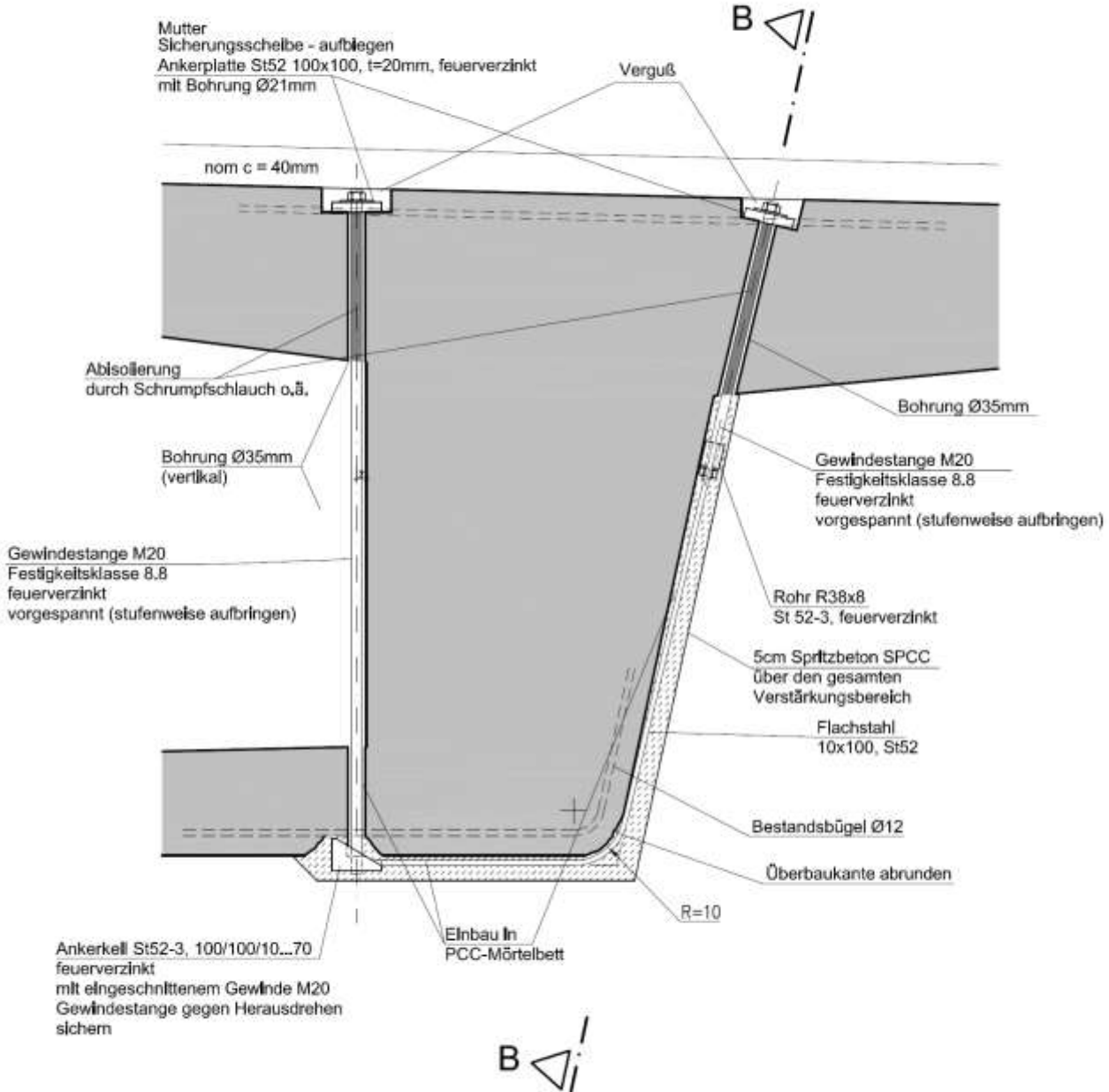


Bild 9: Detail der Querkraftverstärkung Steg Ostseite

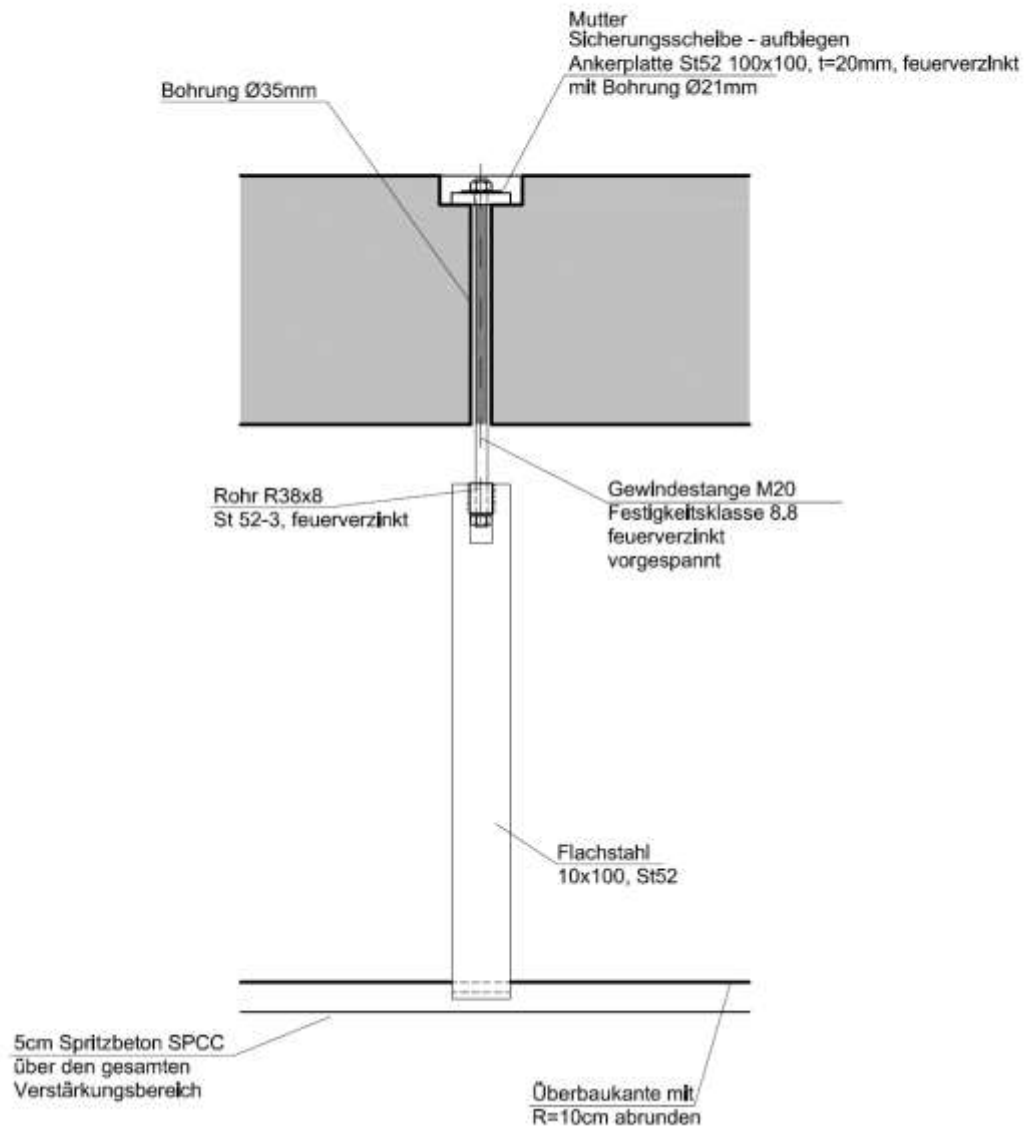


Bild 10: Detail der Querkraftverstärkung Steg Ostseite
(Schnitt B-B aus Bild 9)

Verstärkungstechnik:	1. Zusätzliche Vorspannung	Lfd. Nr.:	1.9	Blatt:	1
<p>Verstärkung 1.9: Plattenbalken- / Trägerrostbrücke mit zusätzlicher externer polygonaler Vorspannung</p>					
<p>Bauwerksdaten</p>					
<p>1. Allgemeine Angaben</p>					
1.1 Einzel- und Gesamtstützweiten:	27,44 + 35,28 + 27,10 = 89,82			m	
1.2 Zahl der Felder:	3				
1.3 Breite zwischen den Geländern:	TBW 1: 11,80			m	
1.4 Brückenfläche:	TBW 1: 1060			m ²	
1.5 Bauwerkswinkel:	43,3			gon	
1.6 Brückenklasse (vor der Verstärkung):	BK 60/30 (DIN 1072)				
1.7 Brückenklasse (nach der Verstärkung):	LM 1 (DIN Fachbericht 101) ohne Belastung der Restflächen				
1.8 Baujahr:	1963				
1.9 Baukosten insgesamt:	-			€	
1.10 Baukosten bezogen auf Brückenfläche:	-			€/m ²	
<p>2. Angaben zur Konstruktion</p>					
2.1 Hauptbaustoff:	Spannbeton				
2.2 Bauwerkssystem in Längsrichtung:	Dreifeldträger; 2 getrennte Überbauten				
2.3 Bauwerkssystem in Querrichtung:	Je Teilbauwerk: 3-stegiger Spannbetonplattenbalken mit Querträgern im Feld und in den Auflagerachsen				
2.4 System der Lagerung:	Stählerne Linienkipplager am Widerlager Ost, Stahlpunktkipplager bei Pendelstützen, Stahlrollenlager ohne besondere Kippvorrichtung am Widerlager West				
2.5 Pfeiler / Stützen:	Vollquerschnitt, Pendelstützen				
2.6 Widerlager:	Widerlager- und Flügelwände einschließlich Fundamenten aus schwach bewehrtem Beton				
2.7 Gründung:	Flachgründung				
2.8 Belag, Oberflächen- und Korrosionsschutz:	Seit 1988: Bitumenvoranstrich, Mastix mit Trennschicht, Gussasphalt				
<p>3. Baustoffe</p>					
3.1 Überbau:	B 450 (entspricht C30/37); Betonstahl BSt I ($f_{yk} = 220 \text{ N/mm}^2$); Spannstahl längs ($f_{p0,2k} = 1400 \text{ N/mm}^2$, $f_{pk} = 1600 \text{ N/mm}^2$)				
3.2 Pfeiler / Stützen:	Stahl St 37.11 und Stahlbeton B 450 (entspricht C30/37)				
<p>Bund/Länder Dienstbesprechung Brücken- und Ingenieurbau</p>			<p>Erfahrungssammlung „Verstärkung von Betonbrücken“</p>		<p>75</p>

3.3 Widerlager: B 225 (entspricht C12/15) für Fundamente, Widerlager, Flügel und Auflagerbänke; B 300 (entspricht C20/25) für hintere Kammerwände; Betonstahl BSt I ($f_{yk} = 220 \text{ N/mm}^2$)

4. Baugrund Geschiebemergel bis stark sandige Böden

5. Besondere, für das Verstärkungserfordernis bedeutsame Bauwerks- und Bauteilmerkmale

An den Überbauten waren gravierende Schäden vorhanden, z.B. waren die Spanngliedhüllrohre unvollständig verpresst.

Angaben zur Art der Verstärkung

- | | |
|--|---|
| 1. Kurzbeschreibung: | Zusätzliche Vorspannung (exzentrisch, polygonal) am Randträger in den Endfeldern von TBW 1 |
| 2. Grund und Ursache bzw. Ziel der Verstärkung: | Ertüchtigung von TBW 1 für 2+0-Verkehr nach DIN FB 101 im Zuge der Erstellung des Ersatzneubaus |
| 3. Verstärkte Bauteile: | Randträger |
| 4. Verstärkungsanwendung: | Lokal (Endfelder) |
| 5. Kosten der Verstärkungsmaßnahme: | |
| - insgesamt: | 396.904 € |
| - bezogen auf die Brückenfläche: | 374 €/m ² |
| 6. Zeitraum der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme: | 2009 (1,5 Monate) |
| 7.1 Nutzungseinschränkung während der Verstärkungsmaßnahme: | Keine |
| 7.2 Nutzungseinschränkung nach der Verstärkungsmaßnahme: | Keine |
| 8. Voraussichtliche Nutzungsdauer: | Ca. 2 Jahre; das Bauwerk ist bereits durch einen Neubau ersetzt (Ziel der Verstärkung war es, die Verkehrsführung über das verstärkte Teilbauwerk führen zu können, während der Ersatzneubau erstellt wurde.) |

Ursachen für den Verstärkungsbedarf

An beiden Überbauten wurden gravierende Schäden festgestellt, die eine Erneuerung der Brücke erforderlich werden ließen. Im Zuge der Erstellung eines Ersatzneubaus der Brücke musste im 1. Bauabschnitt ein 2+0-Verkehr über das südliche Teilbauwerk ermöglicht werden. Die statischen Untersuchungen ergaben, dass aufgrund der vorhandenen Bauschäden die

Tragfähigkeitsreserven für eine Straßenverkehrsbelastung nach DIN Fachbericht 101 lokal überschritten sind. Die Randträger mussten daher in den Endfeldern ertüchtigt werden.

Schadensursache einiger entscheidender Schäden war eine mangelnde und unvollständige Verpressung der Spanngliedhüllrohre.

Verstärkungstechnik:	1. Zusätzliche Vorspannung	Lfd. Nr.:	1.9	Blatt:	3
<p>Darüber hinaus waren infolge der nicht funktionierenden Überbauentwässerung einige Bereiche der Widerlager völlig durchnässt. Aufgrund fehlender Ablaufmulden stand nahezu dauerhaft Wasser vor dem Widerlager West. Neben großflächigen Betonabplatzungen an den Hauptträgern wurden freiliegende Bewehrung an der Unterseite des Überbaus, Hohlstellen und massive Rissbildungen mit bis zu 0,8 mm Rissbreite festgestellt. Die vorhandenen Spann-</p>		<p>drähte waren korrodiert, sodass der Spannstahlquerschnitt reduziert war. Aufgrund der Schwere des Schadensbildes wurden einige Sofortmaßnahmen durchgeführt. Die Geschwindigkeit wurde auf maximal 40 km/h beschränkt und die Fahrstreifen wurden symmetrisch zum mittleren Hauptträger verschwenkt. Desweiteren wurde pro Richtungsfahrbahn nur noch ein Lkw-Fahrstreifen ausgewiesen, sodass ein Lkw-Überholverbot in Kraft trat.</p>			
<hr/> <h2 data-bbox="172 584 762 629">Beschreibung der Verstärkung</h2> <hr/>					
<p>Zur Ertüchtigung der Randträger in beiden Endfeldern wurden acht externe Spannglieder SUSPA-Draht EX-30 eingebaut. Die Vorspannkraft betrug jeweils 536 bzw. 638 kN. Die Anordnung der polygonal geführten Spannglieder erfolgte beidseitig der zu verstärkenden Randträger, um zusätzliche Querbiegebeanspruchungen zu verhindern (Bilder 1 bis 3). Es wurden jeweils paarweise Fest- bzw. Spann-</p>		<p>anker und Umlenksättel aus Baustahl S355J0G2 zu beiden Seiten an den zu verstärkenden Randträgern angeordnet, die mit Stabspanngliedern (Durchmesser 36 mm) gegeneinander verspannt wurden (Bilder 4 und 5). Auf den Ankern und Umlenksätteln wurden Sicherungsbügel eingesetzt, wodurch eine Sicherheit gegen das Herausschießen der Stabspannglieder gewährleistet wurde.</p>			
<hr/> <h2 data-bbox="172 1059 416 1104">Folgerungen</h2> <hr/>					
<p>Die Ertüchtigung konnte ohne Verkehrsbeschränkungen ausgeführt werden. Bei der Erstellung des Ersatzneubaus konnte der</p>		<p>Verkehr mit nur geringen Einschränkungen über das Teilbauwerk 1 geleitet werden.</p>			
<p>Bund/Länder Dienstbesprechung Brücken- und Ingenieurbau</p>		<p>Erfahrungssammlung „Verstärkung von Betonbrücken“</p>			<p>77</p>

Bilder und Bauwerksskizzen

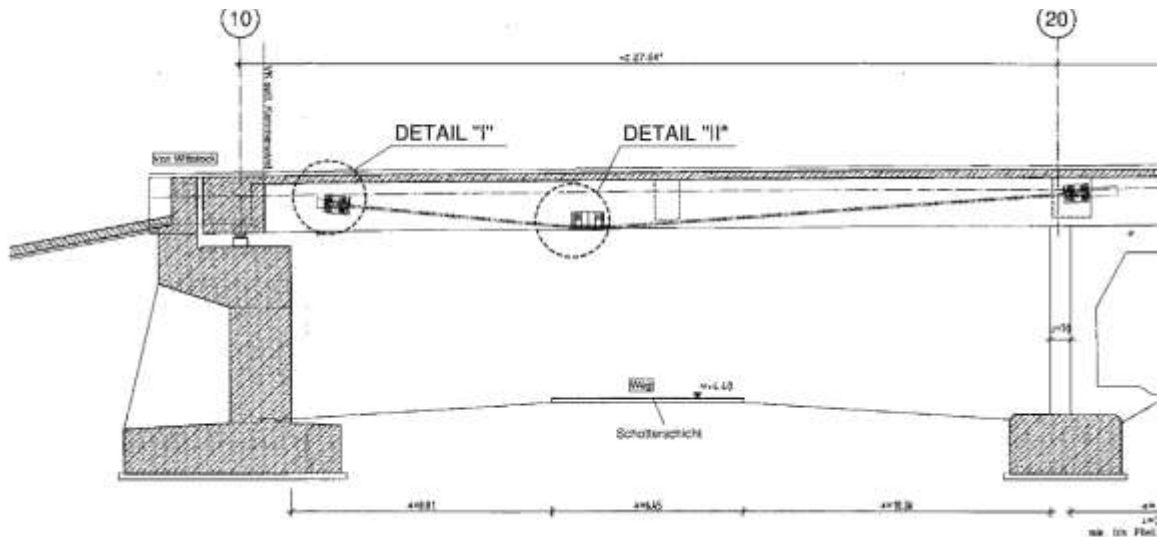


Bild 1: Verlauf der externen Spannglieder

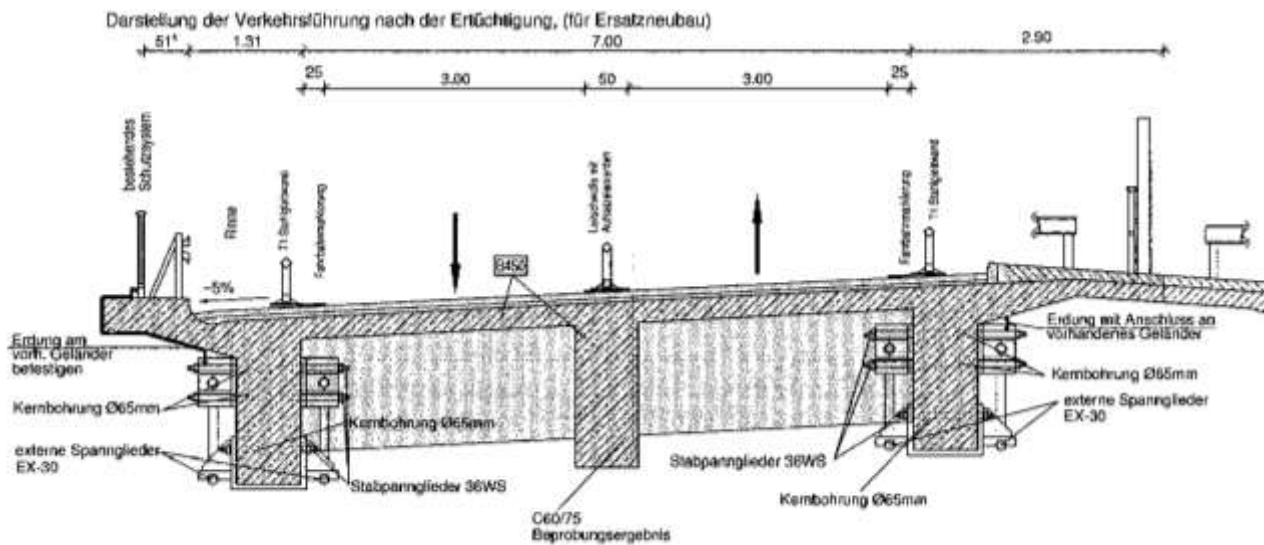


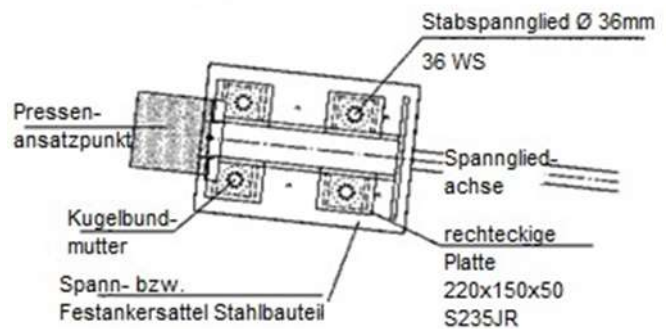
Bild 2: Schnitt durch südliches Teilbauwerk nach Verstärkung



Bild 3: Verlauf der externen Spannglieder



Endverankerung Spannglieder



ISOMETRIE

Spann- bzw. Festankersattel

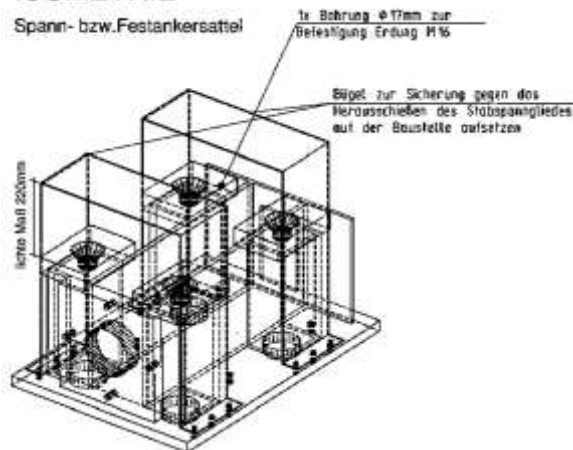


Bild 4: Endverankerung (Detail I): Ausführung, Detailzeichnung und Isometrie



ISOMETRIE

Umlenksattel

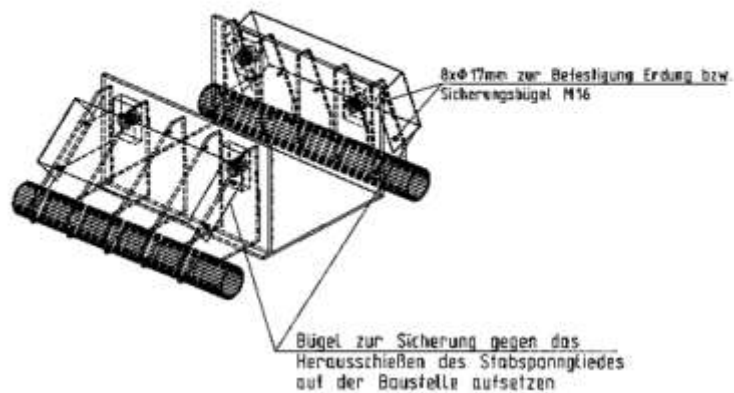
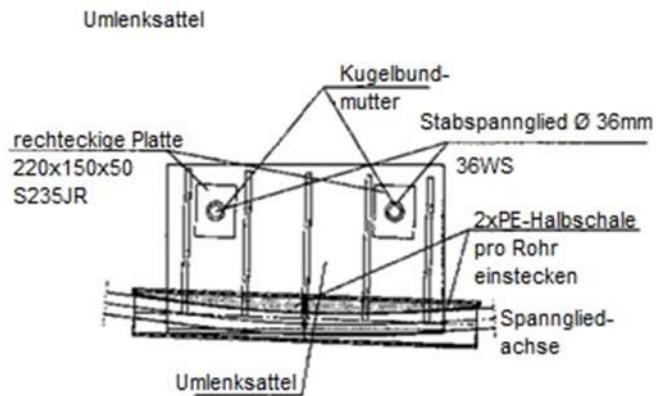


Bild 5: Umlenksattel (Detail II) : Ausführung, Detailzeichnung und Isometrie

Verstärkungstechnik:	2. Querkraftverstärkung	Lfd. Nr.:	2.1	Blatt:	1
Verstärkung 2.1:		Temporäre Querkraftverstärkung eines Hohlkastenquerschnitts mit Stabstahl B500			
<hr/>					
Bauwerksdaten					
<hr/>					
1. Allgemeine Angaben					
1.1 Einzel- und Gesamtstützweiten:	19,50 + 30,00 + 19,50 = 69,00			m	
1.2 Zahl der Felder:	3				
1.3 Breite zwischen den Geländern:	19,19			m	
1.4 Brückenfläche:	1324			m ²	
1.5 Bauwerkswinkel:	97,2			gon	
1.6 Brückenklasse (vor der Verstärkung):	BK 30/30 (DIN 1072)				
1.7 Brückenklasse (nach der Verstärkung):	BK 30/30 (DIN 1072)				
1.8 Baujahr:	1958				
1.9 Baukosten insgesamt:	377.845			€	
1.10 Baukosten bezogen auf Brückenfläche:	285			€/m ²	
2. Angaben zur Konstruktion					
2.1 Hauptbaustoff:	Spannbeton				
2.2 Bauwerkssystem in Längsrichtung:	Im Grundriss gekrümmter Mehrfeldträger mit Durchlaufwirkung				
2.3 Bauwerkssystem in Querrichtung:	Zweizelliger bekriechbarer Hohlkasten (Bild 3)				
2.4 System der Lagerung:	Festlager auf Widerlager Süd (Papplage auf 3 cm hohem Betonsockel, 4 Dollen $d = 40$ mm in Bleihülsen); Stützen gelenkig, allseitig beweglich; Widerlager Nord längs beweglich (Rollenlager ohne besondere Kippvorrichtung)				
2.5 Pfeiler / Stützen:	Beton-Pendelstützen mit Feder- oder Bleigelenken oben und unten				
2.6 Widerlager:	Massivwand				
2.7 Gründung:	Tiefgründung auf Rammpfählen				
2.8 Belag, Oberflächen- und Korrosionsschutz:	Mastix mit hohem Bindemittelgehalt auf Glasfasergittergewebe, Gussasphalt				
3. Baustoffe					
3.1 Überbau:	B 450 (entspricht C30/37); Betonstahl BSt 34/50 (II U) ($f_{yk} = 340$ N/mm ²); Spannstahl St 160/180; Längsvorspannung intern, exzentrisch entsprechend Momentenverlauf ($f_{p0,2k} = 1570$ N/mm ² , $f_{pk} = 1770$ N/mm ²)				
3.2 Pfeiler / Stützen:	B 225 (entspricht C12/15); Betonstahl BSt IIa ($f_{yk} = 340$ N/mm ²)				
3.3 Widerlager:	B 225 (entspricht C12/15); Betonstahl BSt IIa ($f_{yk} = 340$ N/mm ²)				
Bund/Länder Dienstbesprechung Brücken- und Ingenieurbau			Erfahrungssammlung „Verstärkung von Betonbrücken“		81

4. Baugrund

Der bis etwa -4,50 m anstehende Schlick wurde ausgehoben und durch Sand ersetzt. Von etwa -4,50 m bis etwa -23,00 m Sand und Schluff in stark wechselnden Stärken. Ab -23,00 m Geschiebemergel. Nach einem Untersuchungsergebnis von 1958 ist das Flusswasser betonzerstörend. (Fundamente liegen über dem Wasserspiegel. Stützfundamente wurden mit HOZ hergestellt und mit Bitumenanstrich versehen.)

5. Besondere, für das Verstärkungserfordernis bedeutsame Bauwerks- und Bauteilmerkmale

Bei einer Nachrechnung wurden Defizite der Querkraft- und Robustheitsbewehrung festgestellt.

Angaben zur Art der Verstärkung

- | | |
|--|---|
| 1. Kurzbeschreibung: | Querkraftverstärkung mit äußeren Schubdübeln aus Betonstahl B500 |
| 2. Grund und Ursache bzw. Ziel der Verstärkung: | Gemäß Nachrechnung Defizite der Querkraftbewehrung (Einstufung nur in BK 30); Traglasterhöhung auf BK 30/30 |
| 3. Verstärkte Bauteile: | Längsträger |
| 4. Verstärkungsanwendung: | Global |
| 5. Kosten der Verstärkungsmaßnahme: | |
| - insgesamt: | Ca. 375.000 € |
| - bezogen auf die Brückenfläche: | Ca. 283 €/m ² |
| 6. Zeitraum der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme: | 2012 (1,5 Monate) |
| 7.1 Nutzungseinschränkung während der Verstärkungsmaßnahme: | Einschränkung auf BK 30, bei mittiger Verkehrsführung |
| 7.2 Nutzungseinschränkung nach der Verstärkungsmaßnahme: | Genehmigungspflichtiger Schwerverkehr nicht zugelassen |
| 8. Voraussichtliche Nutzungsdauer: | Max. 5 Jahre (Ziel war eine temporäre Verstärkung zur Erreichung der BK 30/30 bis zur Erstellung eines Ersatzneubaus) |

Ursachen für den Verstärkungsbedarf

Berechnungen entsprechend der Stufen 1 und 2 der Nachrechnungsrichtlinie haben gezeigt, dass der Überbau (Bild 1) im damaligen Zustand rechnerisch für das Lastmodell 1 nach DIN Fachbericht 101 und für ergänzende Lastansätze entsprechend der Brückenklassen

30/30 bzw. BK 30 keine ausreichende Querkraftbewehrung (vorh. $\rho_w = 0,087\%$) und keine ausreichende Robustheitsbewehrung aufwies. Daher wurde ein Ersatzneubau angestrebt. Für den Übergangszeitraum bis zur Erstellung des Ersatzneubaus (max. 5 Jahre) wurde eine

temporäre Querkraftverstärkung der Brücke ausgeführt, um die Brücke in die BK 30/30 einordnen zu können. Die Nachweise hierzu

erfolgten entsprechend der Stufe 1 der Nachrechnungsrichtlinie.

Beschreibung der Verstärkung

Zum Ausgleich der zu geringen Querkraftbewehrung wurde die Brücke durch zusätzliche außenliegende Querkraftbewehrung aus Betonstahl B500 verstärkt (Bilder 2 bis 6). Diese wurde nahezu über die gesamte Brückenlänge (Bild 2) jeweils beidseitig der Stege angeordnet (Bilder 3 und 4). Vor Herstellung der Bohrungen in der Fahrbahn- und Bodenplatte musste die Lage der vorhandenen Bewehrung in Längs- und Querrichtung ermittelt werden, um eine Beschädigung derselben auszuschließen. Die Verankerung der zusätzlichen Querkraftbewehrung aus Gewindestahl $\varnothing 20$ erfolgte in der Fahrbahnplatte über eine Schweißverbindung (Kehlnaht umlaufend

$a = 8 \text{ mm}$) an Anschweißplatten, die auf einer Ausgleichsschicht aus kunstharzgebundenem Mörtel verlegt wurden (Bilder 4 und 6). An der Brückenunterseite wurde die Querkraftbewehrung über eine Schraubverbindung an einer Stahlkonstruktion, bestehend aus jeweils zwei U-Profilen (U 50x38 mm), unter Verwendung einer Elastomer-Ausgleichsschicht ($t \geq 5 \text{ mm}$) verankert (Bilder 4 und 5). Sowohl der verwendete Betonstahl als auch der Profilstahl und die Stahlteile zur Verankerung der Bewehrung wurden mit einem Korrosionsschutz gemäß ZTV-ING versehen.

Folgerungen

Mit der Querkraftverstärkung konnte das Lastniveau entsprechend der Brückenklasse 30/30 nachgewiesen werden. Die Brücke war damit bis zur Erstellung des geplanten

Ersatzneubaus der Nachweisklasse C der Nachrechnungsrichtlinie zuzuordnen. Bis 2018 soll die Brücke durch einen Ersatzneubau ersetzt werden.

Bilder und Bauwerksskizzen



Bild 1: Übersichtsfoto des Brückenbauwerks

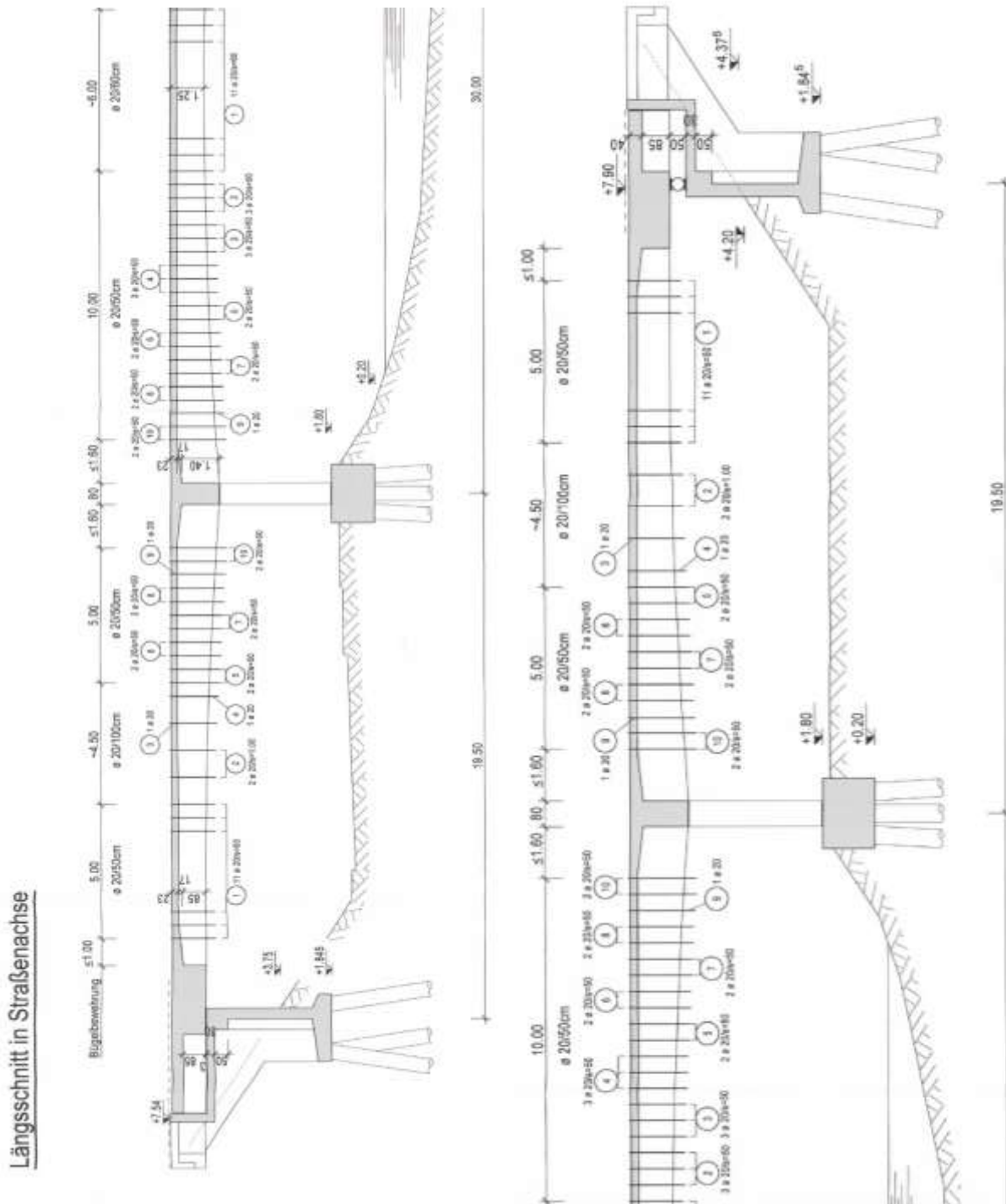


Bild 2: Übersicht der Querkraftverstärkung im Längsschnitt

Querschnitt Höhe 1,25 m

Querschnittshöhe über Bauwerklänge variabel!

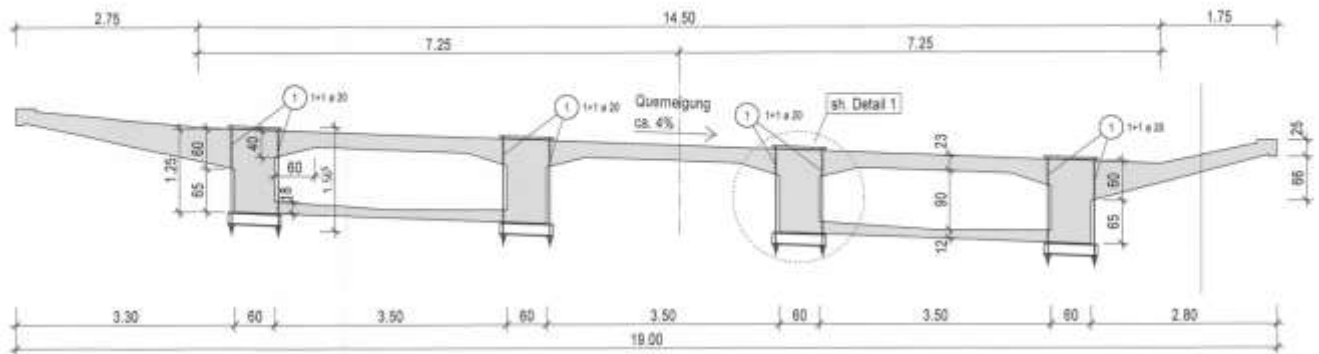
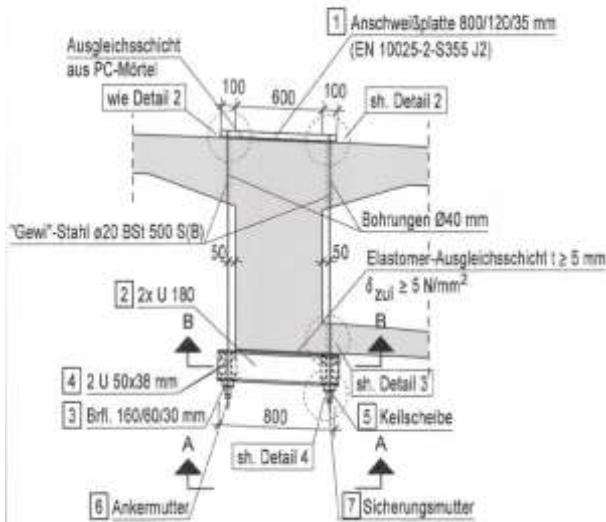


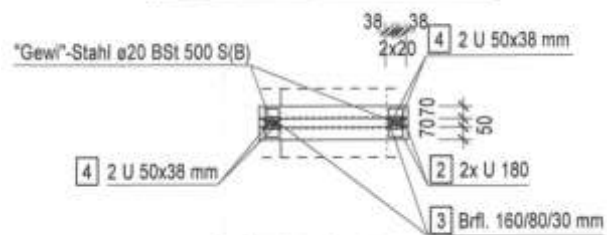
Bild 3: Querschnitt

Detail 1

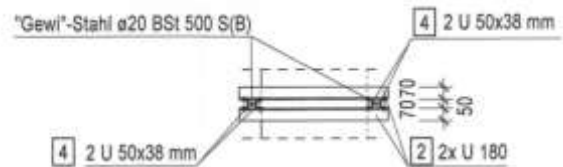
Steghöhe variabel!



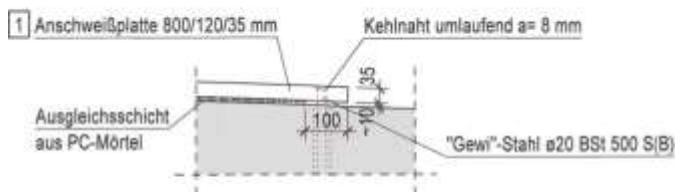
Ansicht A-A von unten



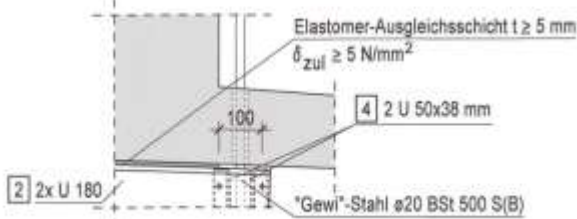
Schnitt B-B



Detail 2



Detail 3



Detail 4

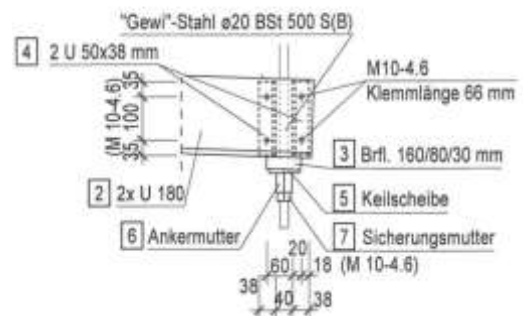


Bild 4: Details 1 bis 4



*Bild 5: Querkraftverstärkung Brückenunterseite
(Ausführung)*



*Bild 6: Anschweißplatten Brückenoberseite
(Ausführung)*

Verstärkungstechnik:	2. Querkraftverstärkung	Lfd. Nr.:	2.2	Blatt:	1
Verstärkung 2.2:		Temporäre Querkraftverstärkung eines Hohlkastenquerschnitts mit Stabspanngliedern			
Bauwerksdaten					
1. Allgemeine Angaben					
1.1	Einzel- und Gesamtstützweiten:	36 + 51,5 + 36 + 36 = 159,5			m
1.2	Zahl der Felder:	4			
1.3	Breite zwischen den Geländern:	2 x 15,58 = 31,16			m
1.4	Brückenfläche:	2 x 2485 = 4970			m ²
1.5	Bauwerkswinkel:	100			gon
1.6	Brückenklasse (vor der Verstärkung):	BK 45 (DIN 1072)			
1.7	Brückenklasse (nach der Verstärkung):	BK 60/30 (DIN 1072)			
1.8	Baujahr:	1966			
1.9	Baukosten insgesamt:	2 x 3,47 = 6,94 Mio. DM \cong 3,55 Mio.			€
1.10	Baukosten bezogen auf Brückenfläche:	714			€/m ²
2. Angaben zur Konstruktion					
2.1	Hauptbaustoff:	Spannbeton			
2.2	Bauwerkssystem in Längsrichtung:	Mehrfeldträger mit Durchlaufwirkung			
2.3	Bauwerkssystem in Querrichtung:	Zwei zweizellige Hohlkästen (Bild)			
2.4	System der Lagerung:	Festlager auf Trennpfeiler zur anschließenden Fertigteilbrücke (Linienkipplager); Stützen: bewegliche Lager (Feder- oder Bleigelenke auf Pendelstützen); Widerlager: gelenkiges Lager (Rollenlager ohne besondere Kippvorrichtung)			
2.5	Pfeiler / Stützen:	Beton-Pendelstützen mit Federgelenken oder Bleigelenken oben und unten			
2.6	Widerlager:	Kastenförmig			
2.7	Gründung:	Flachgründung unter Widerlager, Pfahlgründung unter Stützen und Trennpfeiler			
2.8	Belag, Oberflächen- und Korrosionsschutz:	Mastix mit Trennschicht, Gussasphalt			
3. Baustoffe					
3.1	Überbau:	Beton (Festigkeitsklasse unbekannt); Betonstahl BSt 42/50 RK (III K) ($f_{yk} = 420 \text{ N/mm}^2$); Spannstahl längs in den Stegen ($f_{p0,2k} = 1500 \text{ N/mm}^2$, $f_{pk} = 1700 \text{ N/mm}^2$); Spannstahl quer in der Fahrbahnplatte ($f_{p0,2k} = 1350 \text{ N/mm}^2$, $f_{pk} = 1500 \text{ N/mm}^2$)			
3.2	Pfeiler / Stützen:	Beton (Festigkeitsklasse unbekannt); Betonstahl			
3.3	Widerlager:	Beton (Festigkeitsklasse unbekannt); Betonstahl BSt 42/50 RK (III K) ($f_{yk} = 420 \text{ N/mm}^2$)			
Bund/Länder Dienstbesprechung Brücken- und Ingenieurbau			Erfahrungssammlung „Verstärkung von Betonbrücken“		87

4. Baugrund

Unter dem Mutterboden steifkonsistente feinsandige Schluffschichten bis 4 m Tiefe; darunter staunasse feinsandige Schluffschichten steif bis weich, die ab 106,00 m ü. NN in festgelagerte Verwitterungsschichten des Felsuntergrundes aus Schiefer (=Hoddel) übergehen

5. Besondere, für das Verstärkungserfordernis bedeutsame Bauwerks- und Bauteilmerkmale

-

Angaben zur Art der Verstärkung

- | | | |
|-----|--|--|
| 1. | Kurzbeschreibung: | Querkraftverstärkung mit Stabspanngliedern |
| 2. | Grund und Ursache bzw. Ziel der Verstärkung: | Erhöhung der Querkrafttragfähigkeit |
| 3. | Verstärkte Bauteile: | Hohkastenstege |
| 4. | Verstärkungsanwendung: | Lokal |
| 5. | Kosten der Verstärkungsmaßnahme: | |
| | - insgesamt: | 888.271 € |
| | - bezogen auf die Brückenfläche: | 179 €/m ² |
| 6. | Zeitraum der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme: | 2013 (4 Monate) |
| 7.1 | Nutzungseinschränkung während der Verstärkungsmaßnahme: | Fahrstreifensperrung und geänderte Verkehrsführung (2 + 2 bzw. 3 + 1), Sperrung des Bauwerks für Schwerlastverkehr > 44 t |
| 7.2 | Nutzungseinschränkung nach der Verstärkungsmaßnahme: | - |
| 8. | Voraussichtliche Nutzungsdauer: | Temporär (Ersatzneubau mittelfristig geplant; die Querkrafttragfähigkeit sollte bis zur Erstellung des Ersatzneubaus temporär erhöht werden) |

Ursachen für den Verstärkungsbedarf

Die Brücke war ursprünglich in die Brückenklasse 45 eingestuft und sollte für das Verkehrslastniveau entsprechend der Brücken-

klasse 60/30 verstärkt werden. Hierdurch wurde eine Querkraftverstärkung erforderlich.

Beschreibung der Verstärkung

Zur Vergrößerung der Querkrafttragfähigkeit wurde in Teilbereichen seitlich der Hohlkastenstege eine zusätzliche Querkraftbewehrung in Form von Stabspanngliedern eingebaut (Bilder 2 bis 6). Die Verankerung an der Ober- und Unterseite erfolgte jeweils über Schraubverbindungen und Ankerplatten. In der Fahrbahnplatte wurde die Verankerung in Verankerungstaschen eingelassen, die mittels Kernbohrungen ($\varnothing = 250 \text{ mm}$) hergestellt wurden (Bild 4). Hierzu wurde der Brückenbelag partiell entfernt und nach Einbau der zusätzlichen Bewehrung wiederhergestellt. Vor Erstellung der Kernbohrungen wurden die vorhandenen Querspannglieder in der Fahrbahnplatte zerstörungsfrei geortet, um eine Beschädigung derselben ausschließen zu

können. Für die Durchführung der Stabspannglieder ($\varnothing 32$) durch die Fahrbahn- und Bodenplatte wurden Bohrungen mit einem Durchmesser von 60 mm erstellt. Die Ankerplatten in der Fahrbahnplatte wurden auf ein Mörtelbett der Festigkeitsklasse C50/60 gebettet, das als Ausgleichsschicht diente. Die Verankerung an der Brückenunterseite erfolgte über Stahlkonstruktionen, die jeweils aus einem Kopfblech, einem Mörtelbett der Festigkeitsklasse C50/60, zwei U-Profilen (U300), einer Verteiler- und einer Ankerplatte bestanden (Bilder 1, 3, 5 und 6). Nach dem Einbau der zusätzlichen Bewehrung wurden die Ankerstaschen mit schwindarmem Beton verschlossen und die Bohrungen mit Vergussmörtel vergossen.

Folgerungen

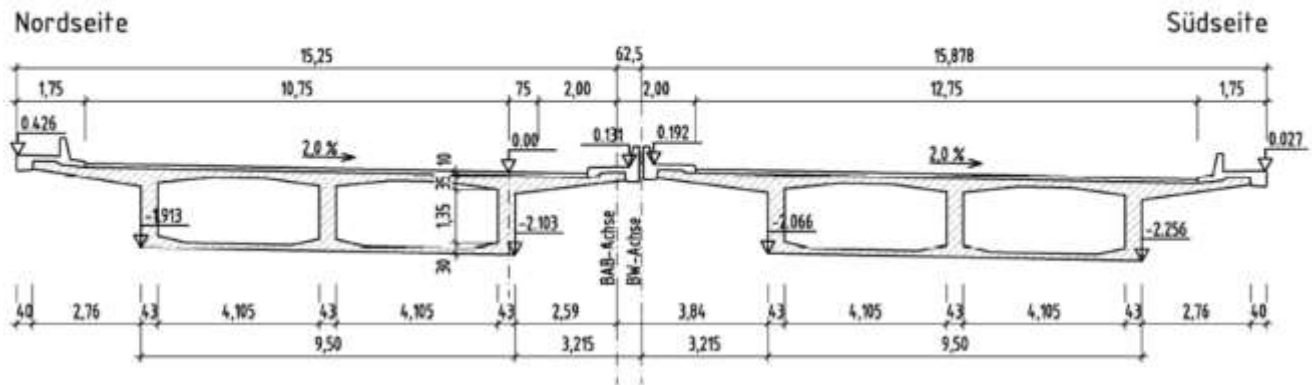
Durch die Verstärkung kann die Brücke in die Brückenklasse 60/30 eingeordnet werden. Hierdurch konnte der zwischenzeitlich gesperrte Fahrstreifen in einer Fahrtrichtung wieder freigegeben werden. In der anderen Fahrt-

richtung wurde die vorhandene verkehrliche Anlage zur Standstreifenmitbenutzung in Betrieb genommen. Trotz der erfolgreichen Verstärkung wird mittelfristig ein Ersatzneubau der Brücke angestrebt.

Bilder und Bauwerksskizzen

Regelquerschnitt Feld

(Stegbreite = 43cm)



Querschnitt im Stützbereich

(am Stützquerträger mit 90er Steganschnitt)

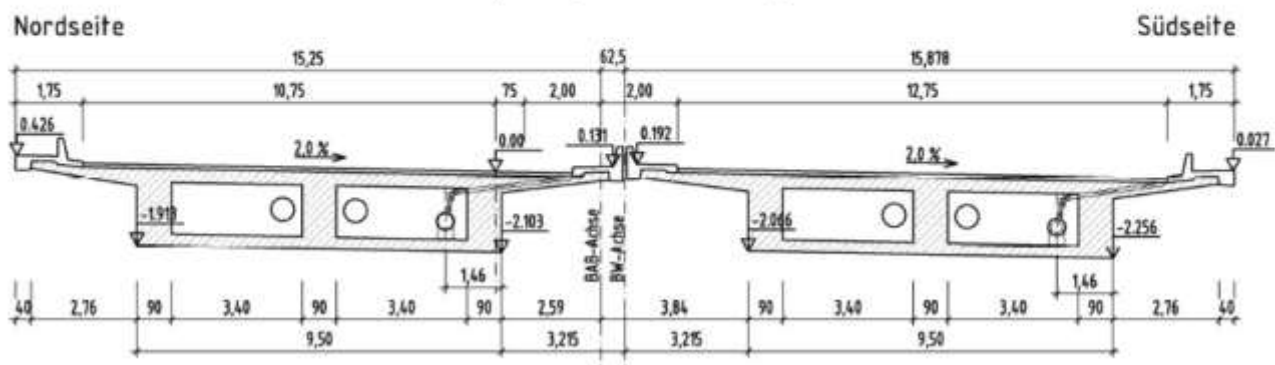


Bild 1: Querschnitt der Brücke

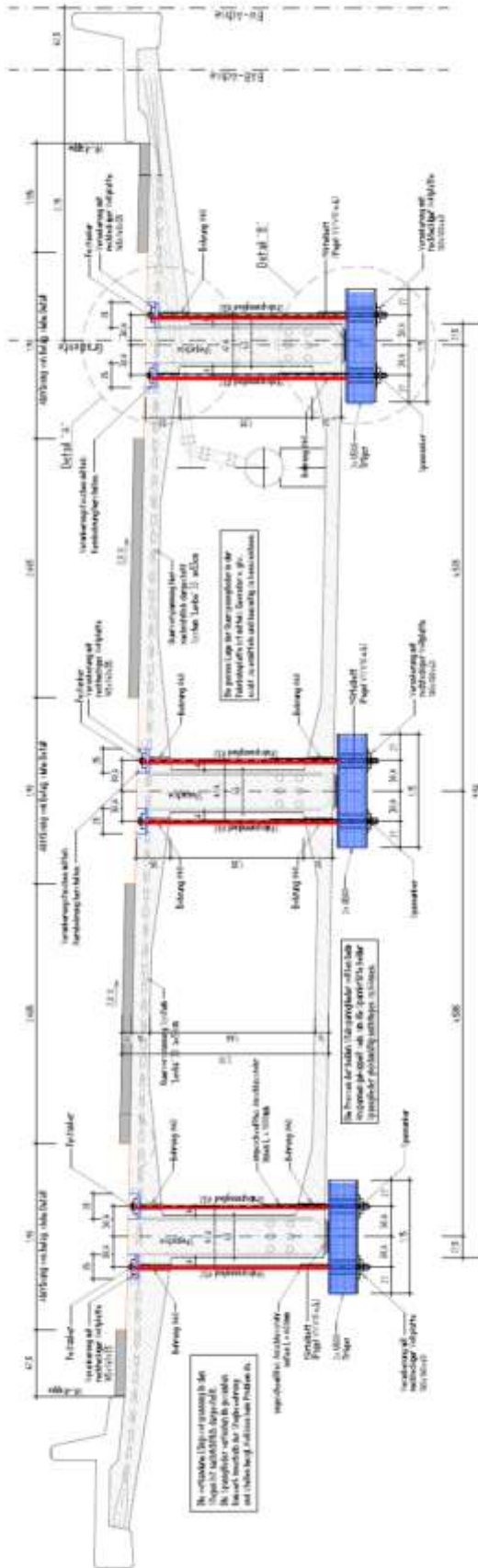


Bild 2: Querschnitt der Brücke mit Querkraftverstärkung

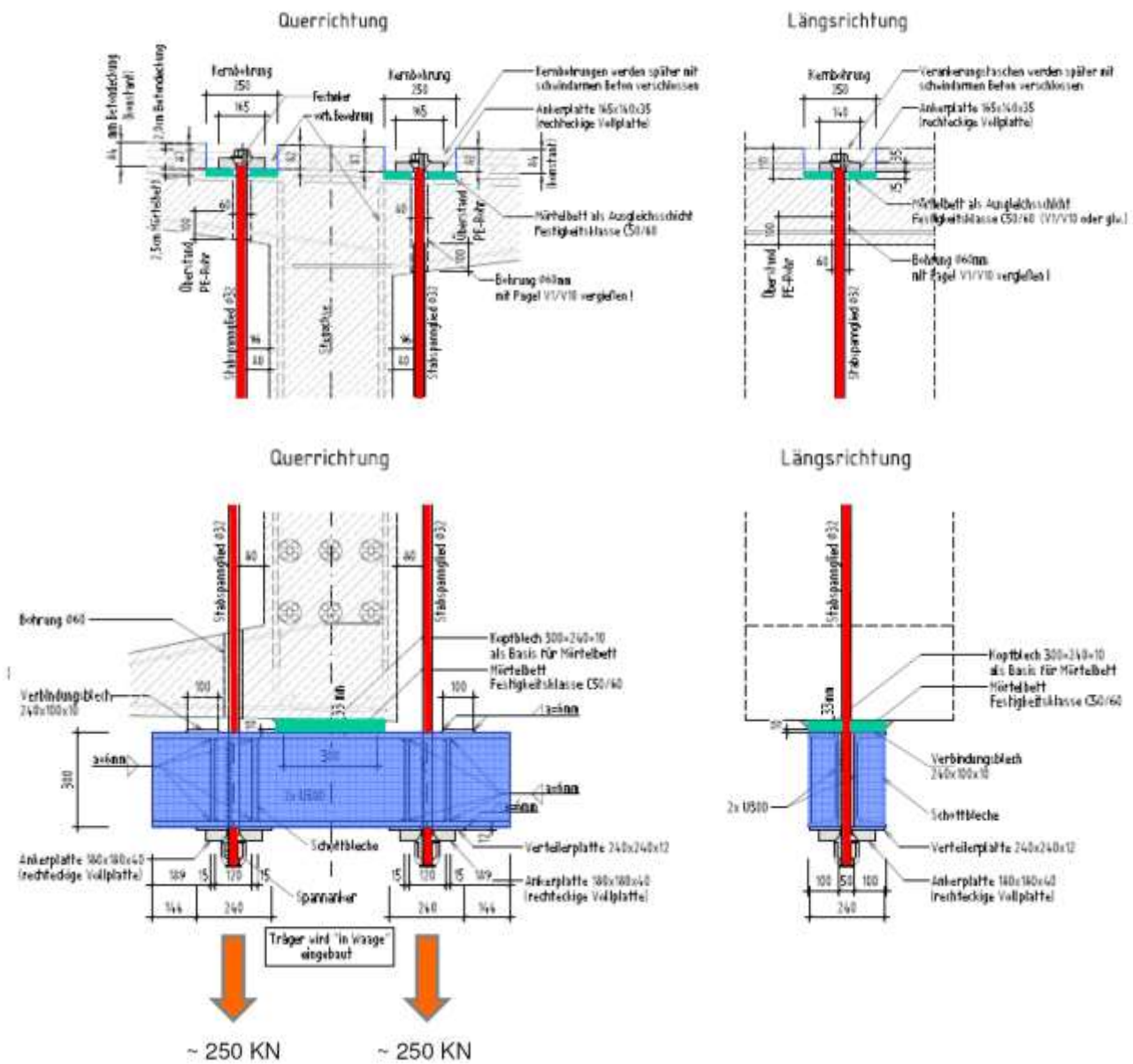


Bild 3: Verankerung der zusätzlichen Querkraftbewehrung an Fahrbahn- und Bodenplatte in Längs- und Querrichtung



Bild 4: Kernborungen in Fahrbahnplatte zur Verankerung der zusätzlichen Querkraftbewehrung (Ausführung)



Bild 5: Stahltraversen zur Verankerung der zusätzlichen Querkraftbewehrung an der Brückenunterseite



Bild 6: Verankerung der zusätzlichen Querkraftverstärkung (Ausführung)

Verstärkungstechnik:	2. Querkraftverstärkung	Lfd. Nr.:	2.3	Blatt:	1
Verstärkung 2.3:		Querkraftverstärkung eines Hohlkastenquerschnitts mit Stabspanngliedern			
Bauwerksdaten					
1. Allgemeine Angaben					
1.1 Einzel- und Gesamtstützweiten:	TBW 3: 8 x 30,66 = 245,28				m
1.2 Zahl der Felder:	TBW 3: 8				
1.3 Breite zwischen den Geländern:	TBW 3: 21,10				m
1.4 Brückenfläche:	TBW 3: 5175				m ²
1.5 Bauwerkswinkel:	0				gon
1.6 Brückenklasse (vor der Verstärkung):	BK 60 (DIN 1072); Einstufung (2012): BK 45 (DIN 1072)				
1.7 Brückenklasse (nach der Verstärkung):	BK 45 (DIN 1072)				
1.8 Baujahr:	1959				
1.9 Baukosten insgesamt:	TBW 3: 2.132.000 DM \approx 1.090.074				€
1.10 Baukosten bezogen auf Brückenfläche:	211				€/m ²
2. Angaben zur Konstruktion					
2.1 Hauptbaustoff:	Spannbeton				
2.2 Bauwerkssystem in Längsrichtung:	Mehrfeldträger mit Durchlaufwirkung				
2.3 Bauwerkssystem in Querrichtung:	2-zelliger Hohlkasten (Bild 1)				
2.4 System der Lagerung:	Rollen mit Stahl-Punktkipplager; 1982 teilweise ersetzt durch Gleitlager mit Kippvorrichtung (keine Angabe zu einem Festlager)				
2.5 Pfeiler / Stützen:	Vollquerschnitt Rundstütze				
2.6 Widerlager:	Kastenförmig				
2.7 Gründung:	Flachgründung für Widerlager und Stützen Achsen H und K bis O; Pfahlgründung für Stütze Achse J				
2.8 Belag, Oberflächen- und Korrosionsschutz:	Kratzspachtelung mit Epoxidharz-Sandgemisch, bituminöse Dichtungsbahn, 3,5 cm Gussasphalt				
3. Baustoffe					
3.1 Überbau:	B 450 (entspricht C30/37); Betonstahl BSt 22/34 GU (I G) ($f_{yk} = 220 \text{ N/mm}^2$) und BSt II ($f_{yk} = 340 \text{ N/mm}^2$); Spannstahl längs intern, exzentrisch (entsprechend Momentenverlauf) und quer in Querträger und Fahrbahnplatte ($f_{p0,2k} = 1420 \text{ N/mm}^2$, $f_{pk} = 1570 \text{ N/mm}^2$)				
3.2 Pfeiler / Stützen:	B 450 (entspricht C30/37); Betonstahl BSt 22/34 GU (I G) ($f_{yk} = 220 \text{ N/mm}^2$) und BSt II ($f_{yk} = 340 \text{ N/mm}^2$)				
Bund/Länder Dienstbesprechung Brücken- und Ingenieurbau			Erfahrungssammlung „Verstärkung von Betonbrücken“		95

3.3 Widerlager: Bn 150 (entspricht C12/15); Betonstahl BSt 22/34 GU (I G) ($f_{yk} = 220 \text{ N/mm}^2$) und BSt II ($f_{yk} = 340 \text{ N/mm}^2$); Auflagerbank: B 45 (entspricht C35/45)

4. Baugrund Kies, schwach bis grob lehmig

5. Besondere, für das Verstärkungserfordernis bedeutsame Bauwerks- und Bauteilmerkmale

Durch das frühe Baujahr wies die Brücke Defizite im Bereich der Querkrafttragfähigkeit auf.

Angaben zur Art der Verstärkung

- | | |
|--|---|
| 1. Kurzbeschreibung: | Querkraftverstärkung mit Stabspanngliedern und untergehängter Stahlkonstruktion |
| 2. Grund und Ursache bzw. Ziel der Verstärkung: | Nach einer Nachrechnung wurde die Brücke in BK 45 eingestuft. Grund für die Maßnahme war die mangelhafte Querkrafttragfähigkeit. Ziel der Verstärkung war es, bis zum Ersatzneubau in zehn bis 15 Jahren das Bauwerk mit BK 45 zu erhalten. |
| 3. Verstärkte Bauteile: | Hohlkastenstege (Querkraftverstärkung im Auflagerbereich der Achsen H, J, K, L, M, N, O jeweils links u. rechts der Pfeiler) |
| 4. Verstärkungsanwendung: | Lokal (Vergrößerung der Querkrafttragfähigkeit der Hohlkastenstege in Längsrichtung in den Auflagerbereichen) |
| 5. Kosten der Verstärkungsmaßnahme: | |
| - insgesamt: | 1.486.499 € |
| - bezogen auf die Brückenfläche: | ca. 287 €/m ² |
| 6. Zeitraum der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme: | 2013 (5 Monate) |
| 7.1 Nutzungseinschränkung während der Verstärkungsmaßnahme: | Keine |
| 7.2 Nutzungseinschränkung nach der Verstärkungsmaßnahme: | Das Bauwerk wurde in BK 45 eingestuft, wurde für den Schwerlastverkehr gesperrt und hat eine Restnutzungsdauer von 15 Jahren |
| 8. Voraussichtliche Nutzungsdauer: | Das Bauwerk wurde dauerhaft verstärkt, jedoch vor dem Hintergrund einer Restnutzungsdauer von 15 Jahren |

Ursachen für den Verstärkungsbedarf

Eine Nachrechnung der Brücke ergab, dass die Brücke Defizite im Bereich der Querkrafttragfähigkeit aufwies, sodass die Brücke in BK 45 eingestuft wurde. Um das Bauwerk bis

zum geplanten Ersatzneubau in 10 bis 15 Jahren zu erhalten, wurde eine Verstärkung der Hohlkastenstege erforderlich.

Beschreibung der Verstärkung

Zur Vergrößerung der Querkrafttragfähigkeit wurde in den Pfeilerbereichen eine zusätzliche Querkraftbewehrung in Form von senkrecht verlaufenden Stabspanngliedern vorgesehen. Die Spannglieder (Einstabanker) wurden dabei jeweils rechts und links der Stege der Hohlkästen angeordnet (Bild 2). Unterhalb der Hohlkastenbodenplatte wurde eine Stahlkonstruktion angeordnet, die der Verankerung der zusätz-

lichen Bewehrung und der Lasteinleitung in den Steg dient. Die Stahlkonstruktion besteht hierbei aus jeweils zwei U-Profilen (U 300), die rechts und links der Spannglieder angeordnet wurden und die durch Verbindungsplatten 100 x 260 x 10 mm im Abstand von 50 cm miteinander verbunden sind. Die Lasteinleitung im Stegbereich erfolgt über ein Mörtelbett. Die Stahlkonstruktion ist dort mit 5 Steifen verstärkt.

Folgerungen

Durch den Einbau einer zusätzlichen Querkraftbewehrung konnte das bestehende Querkraftdefizit soweit reduziert werden, dass die Brücke unter der Berücksichtigung der

Verstärkung mit einer vorgesehenen Restnutzungsdauer von zehn bis 15 Jahren in die Brückenkategorie 45 eingestuft werden kann.

Bilder und Bauwerksskizzen

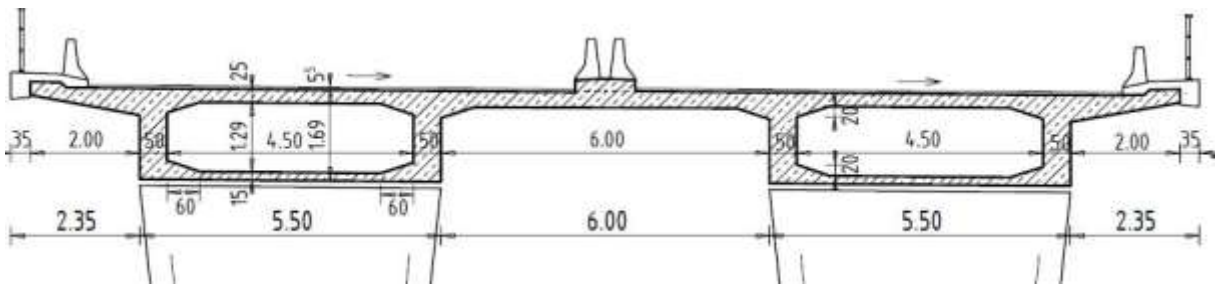


Bild 1: Querschnitt der Brücke

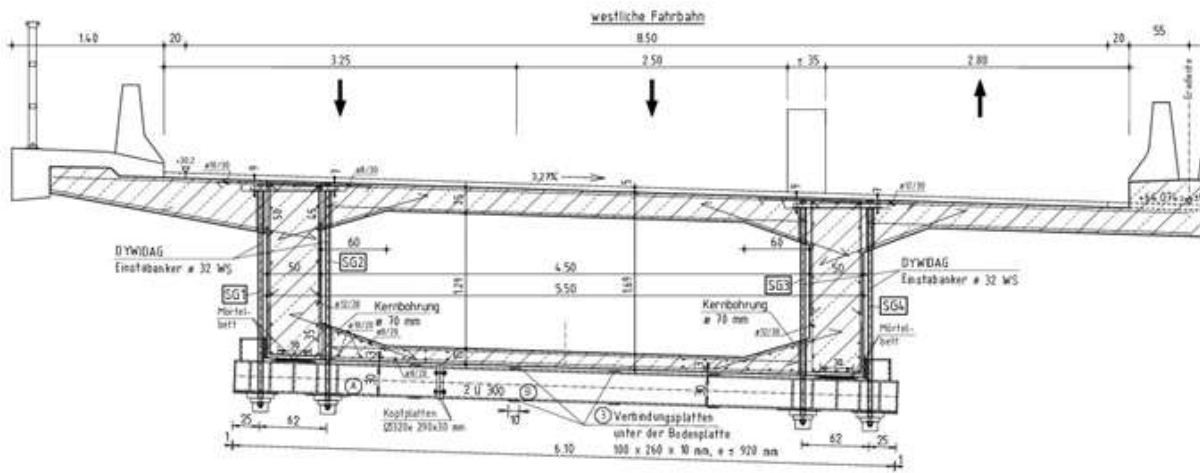


Bild 2: Querkraftverstärkung (Schnitt durch westliche Fahrbahn)

Verstärkung 2.4: **Notinstandsetzung eines Hohlkasten-
querschnitts mittels zusätzlicher externer
zentrischer Vorspannung und
Querkraftverstärkung mit
Stabspanngliedern an den Steginnenseiten**

Bauwerksdaten

1. Allgemeine Angaben

1.1 Einzel- und Gesamtstützweiten:	$43,50 + 3 \times 57,80 + 43,50 = 260,40$	m
1.2 Zahl der Felder:	5	
1.3 Breite zwischen den Geländern:	$15,48 + 15,68 = 31,16$	m
1.4 Brückenfläche:	$4031 + 4083 = 8114$	m ²
1.5 Bauwerkswinkel:	100	gon
1.6 Brückenklasse (vor der Verstärkung):	BK 60 (DIN 1072)	
1.7 Brückenklasse (nach der Verstärkung):	BK 60/30 (DIN 1072)	
1.8 Baujahr:	1967	
1.9 Baukosten insgesamt:	$2 \times 3.279.668 \text{ DM} \approx 3.353.735$	€
1.10 Baukosten bezogen auf Brückenfläche:	413	€/m ²

2. Angaben zur Konstruktion

2.1 Hauptbaustoff:	Spannbeton
2.2 Bauwerkssystem in Längsrichtung:	Im Grundriss gekrümmter Mehrfeldträger mit Durchlaufwirkung ($R = 1100 \text{ m}$)
2.3 Bauwerkssystem in Querrichtung:	Hohlkasten
2.4 System der Lagerung:	Festpunkt (zwei Linienkipplager) auf einem Widerlager; am anderen Widerlager und auf den Pfeilern längsverschiebliche Lager (jeweils zwei Stahlrollenlager); querfeste Lager in allen Achsen
2.5 Pfeiler / Stützen:	Hohlquerschnitt
2.6 Widerlager:	Kastenförmig
2.7 Gründung:	Flachgründung
2.8 Belag, Oberflächen- und Korrosionsschutz:	Gussasphalt-Schutzschicht und Abdichtung

3. Baustoffe

3.1 Überbau:	B 450 (entspricht C30/37); Betonstahl BSt IIIb ($f_{yk} = 400 \text{ N/mm}^2$); Spannstahl längs in Hohlkastenstegen und Spannstahl quer in Fahrbahnplatte ($f_{p0,2k} = 1230 \text{ N/mm}^2$, $f_{pk} = 1375 \text{ N/mm}^2$)
--------------	---

- 3.2 Pfeiler / Stützen:** B 300 (entspricht C20/25); Pfeilerkopf B 450 (entspricht C30/37); Betonstahl: BSt IIIb ($f_{yk} = 400 \text{ N/mm}^2$)
- 3.3 Widerlager:** B 300 (entspricht C20/25); Betonstahl: BSt I ($f_{yk} = 220 \text{ N/mm}^2$); Auflagerbank: B 450 (entspricht C30/37), Betonstahl: BSt I ($f_{yk} = 220 \text{ N/mm}^2$)

4. Baugrund

-

5. Besondere, für das Verstärkungserfordernis bedeutsame Bauwerks- und Bauteilmerkmale

Neben einem insgesamt schlechten baulichen Zustand wurden für das Baujahr typische Defizite im Bereich der Koppelfugen (Koppelfugenproblematik) und der Querkrafttragfähigkeit festgestellt.

Angaben zur Art der Verstärkung

- 1. Kurzbeschreibung:** Zusätzliche Vorspannung (zentrisch) / Querkraftverstärkung mit Stabspanngliedern
- 2. Grund und Ursache bzw. Ziel der Verstärkung:** Traglasterhöhung von BK 60 auf BK 60/30
- 3. Verstärkte Bauteile:** Verstärkung des Überbaus in Längsrichtung mit externen Spanngliedern / Querkraftverstärkung der Hohlkastenstege mit Stabspanngliedern
- 4. Verstärkungsanwendung:** Global (externe Vorspannung) und lokal (Querkraftverstärkung)
- 5. Kosten der Verstärkungsmaßnahme:**
 - insgesamt: ca. 2.900.000 € (TBW 2)
 - bezogen auf die Brückenfläche: ca. 710 €/m²
- 6. Zeitraum der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme:** 2010 - 2011 (14 Monate)
- 7.1 Nutzungseinschränkung während der Verstärkungsmaßnahme:** Sperrung eines Fahrstreifens (in jeder Bauphase wurden zwei Fahrstreifen von ursprünglich drei Fahrstreifen je Fahrtrichtung aufrecht erhalten)
- 7.2 Nutzungseinschränkung nach der Verstärkungsmaßnahme:** Keine
- 8. Voraussichtliche Nutzungsdauer:** Beide Teilbauwerke der Brücke sollten zeitnah durch einen Neubau ersetzt werden. Bei der Verstärkungsmaßnahme handelte es sich daher um eine "Notinstandsetzung" des Teilbauwerks 2 für eine Lebensdauer von ca. zehn Jahren mit dem Ziel, Brückenklasse 60/30 zu erreichen, sodass das TBW 2 während der Erneuerung des TBW 1 einen 4+0-Verkehr aufnehmen konnte.

Ursachen für den Verstärkungsbedarf

Der bauliche Zustand der Überbauten sowie die Ergebnisse einer Nachrechnung für die Brückenklasse 60/30 erforderten zusätzliche Überwachungs- und Prüftätigkeiten, bei denen schwer wiegende Mängel an den Überbauten aufgedeckt wurden (siehe auch Beispiel 1.4).

Die Nachrechnung der Überbauten für die Brückenklasse 60/30 ergab unter anderem, dass keine ausreichende Querkrafttragfähigkeit gegeben war.

Aufgrund des ungewöhnlich hohen Grades an Vorschädigungen wurde bei Teilbauwerk 1 von einer Notinstandsetzung abgesehen und umgehend eine Erneuerung dieses Überbaus vorgenommen. Die Verstärkung erfolgte daher nur für das Teilbauwerk 2, sodass das TBW 2 während der Erneuerung des TBW 1 einen 4+0-Verkehr aufnehmen konnte.

Beschreibung der Verstärkung

Neben der nachfolgend beschriebenen Querkraftverstärkung mit innenliegenden Stabspanngliedern wurde die Brücke durch eine zusätzliche Vorspannung verstärkt. Die vollständige Beschreibung der Verstärkungsmaßnahmen ist in Beispiel 1.4 zu finden.

Die Querkraftverstärkung erfolgte durch vertikal angeordnete Stabspannglieder an der Innenseite der Stege im Bereich der Achsen 20 bis 50 (Bilder 1 bis 4). Der prinzipielle Bauablauf zur Herstellung der Querkraftverstärkung sah laut Entwurfsplanung nach dem Einmessen der planmäßigen Lage der vertikalen Stabspannglieder den Einbau und die Befestigung der Stahlträger (U400) am Überbau mit im Stegbereich angebrachten Verbundankern vor (Bild 4). Anschließend wurden die Kernboh-

rungen für die spätere Verankerung der Spannglieder in der Fahrbahnplatte hergestellt. Da die Stabspannglieder in eine Betonvorsatzschale eingebunden werden sollten, wurden die Steginflächen mittels Höchstdruckwasserstrahlen aufgeraut und so für die spätere Herstellung der Betonvorsatzschale vorbereitet. Nach Herstellung der Stegschlitze wurden die Stabspannglieder unter handfester Vorspannung eingebaut. Die seitlichen Keile zwischen Stegaußenkante und Stahlträgerkonsole wurden kraftschlüssig eingebaut und seitlich fixiert. Anschließend wurde die Betonvorsatzschale hergestellt. Unter Verwendung von Anschlussbewehrung wurden die Stabspannglieder mit einer maximalen Vorspannkraft von 460 kN vorgespannt und anschließend verpresst.

Folgerungen

Mit Hilfe der beschriebenen Maßnahmen (zusätzliche zentrische Vorspannung (siehe Beispiel 1.4), Querkraftverstärkung mit

Stabspanngliedern) konnten die festgestellten Defizite erfolgreich beseitigt werden.

Bilder und Bauwerksskizzen

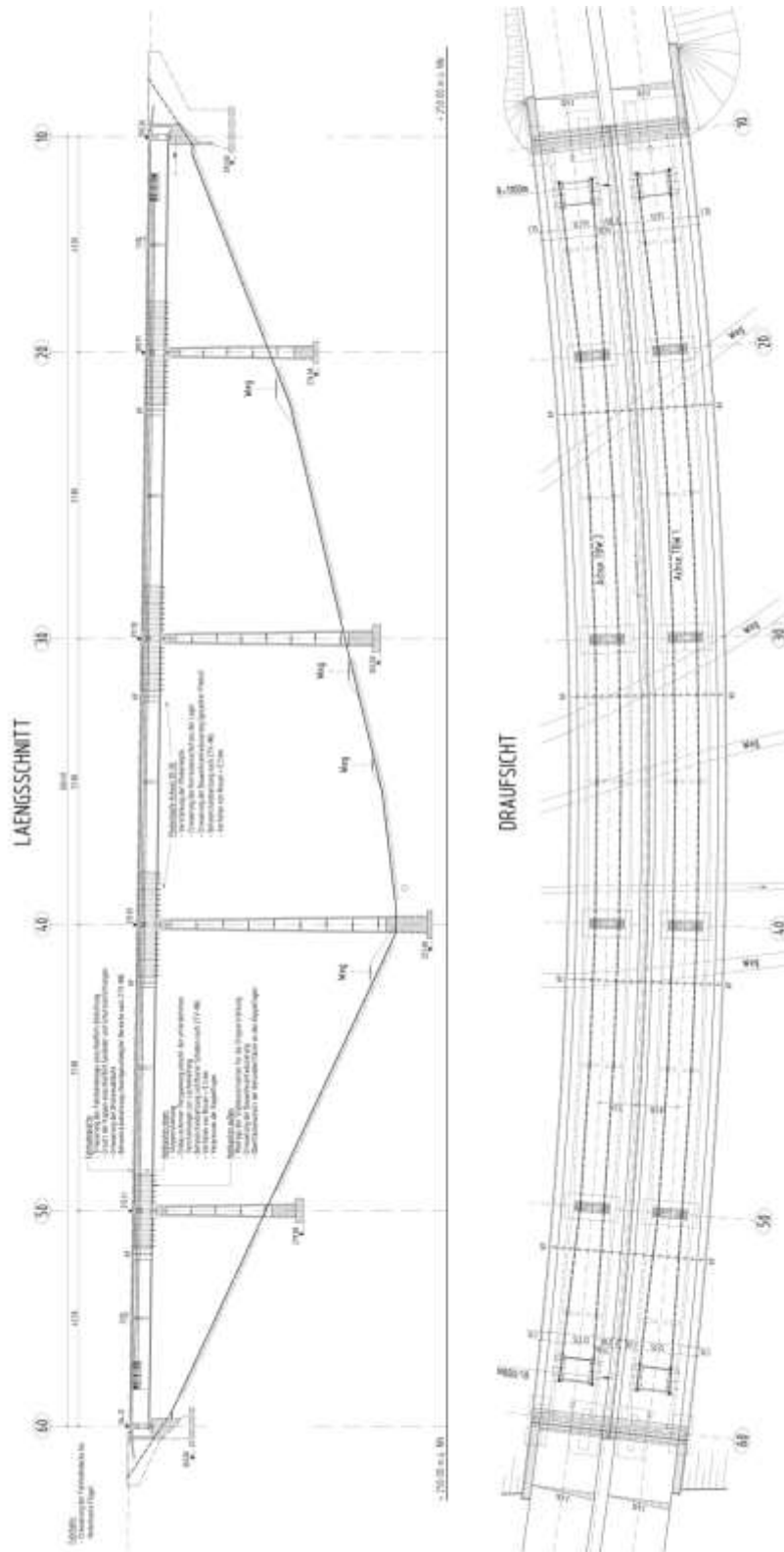


Bild 1: Übersicht Verstärkung in Längsschnitt und Draufsicht (Entwurfsplanung)

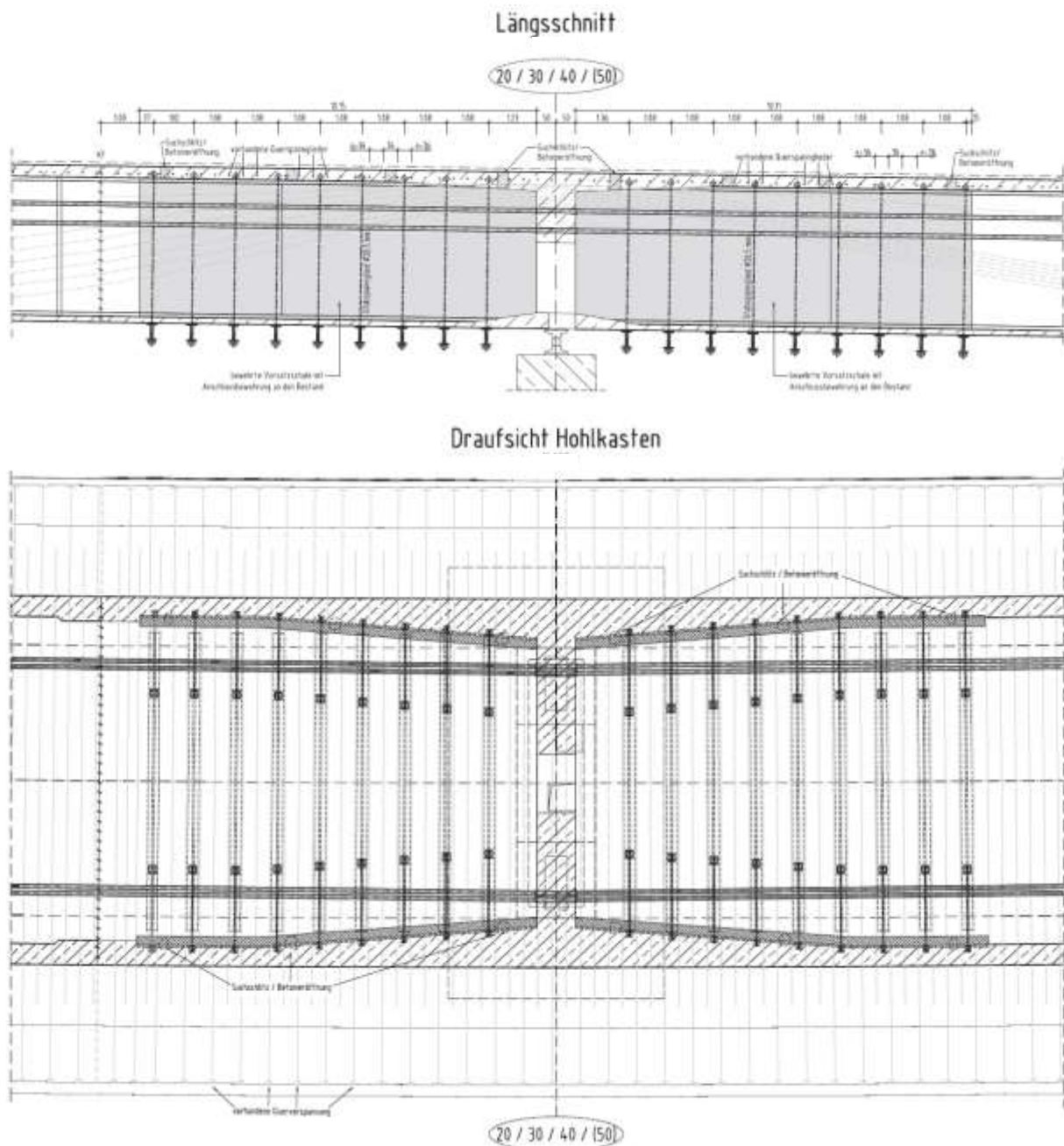
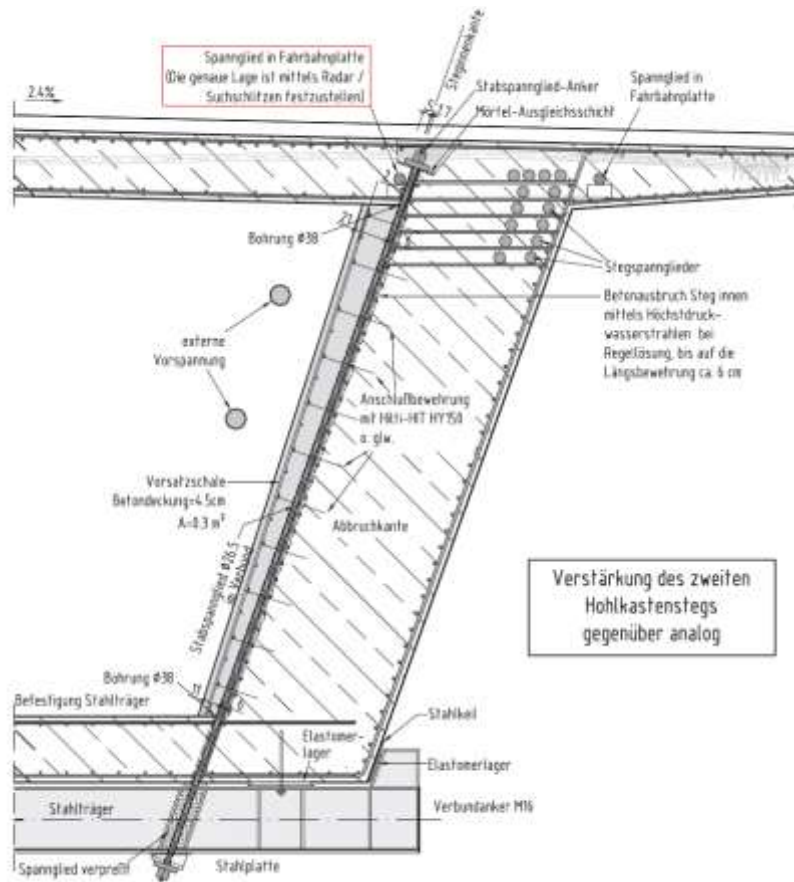
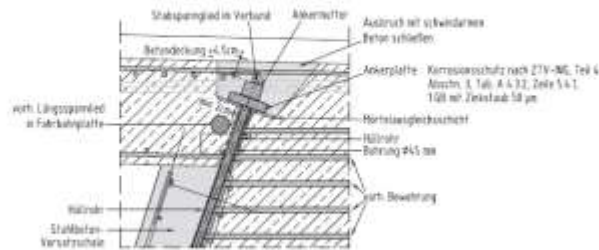


Bild 2: Querkraftverstärkung, Längsschnitt / Draufsicht (Entwurfsplanung)

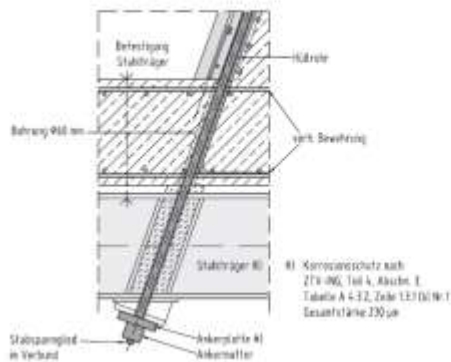


Verstärkung des zweiten Hohlkastenstegs gegenüber analog

Details Stabspannglied Verankerung in der Fahrbahnplatte
M 1:10



Verankerung am Stahlträger
M 1:10



Querschnitt Stahlträger
M 1:10

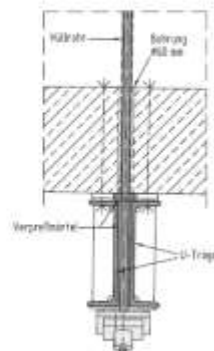


Bild 3: Querkraftverstärkung, Querschnitt und Details (Entwurfsplanung)



Bild 4: Untersicht Brücke mit Stahlträgern zur Verankerung der Querkraftverstärkung

Verstärkung 2.5: **Notinstandsetzung eines Hohlkasten-
querschnitts mittels zusätzlicher externer
zentrischer Vorspannung und Querkraft-
und Torsionsverstärkung mit
Stabspanngliedern an den Stegaußenseiten**

Bauwerksdaten

1. Allgemeine Angaben

1.1 Einzel- und Gesamtstützweiten:	$37,90 + 7 \times 44,60 + 37,90 = 388,0$	m
1.2 Zahl der Felder:	9	
1.3 Breite zwischen den Geländern:	$2 \times 16,0 = 32,0$	m
1.4 Brückenfläche:	$2 \times 6208 = 12416$	m ²
1.5 Bauwerkswinkel:	100	gon
1.6 Brückenklasse (vor der Verstärkung):	BK 60 (DIN 1072)	
1.7 Brückenklasse (nach der Verstärkung):	BK 60/30 (DIN 1072) für TBW 2	
1.8 Baujahr:	1968	
1.9 Baukosten insgesamt:	$2 \times 4.052.965 \text{ Mio DM} \cong 4.144.496$	€
1.10 Baukosten bezogen auf Brückenfläche:	334	€/m ²

2. Angaben zur Konstruktion

2.1 Hauptbaustoff:	Spannbeton
2.2 Bauwerkssystem in Längsrichtung:	Im Grundriss gekrümmter Mehrfeldträger mit Durchlaufwirkung ($R < 1500$ m, Wendeklothoide und Kreisbogen)
2.3 Bauwerkssystem in Querrichtung:	Hohlkasten
2.4 System der Lagerung:	Festpunkte Achse E und F: Topflager mit Kunststoffdichtung; an den Widerlagern und Pfeilern Achsen B-D und G-J: Gleitlager mit Topflager längsverschieblich; querfeste Lager in allen Achsen
2.5 Pfeiler / Stützen:	Hohlquerschnitt
2.6 Widerlager:	Kastenförmig
2.7 Gründung:	Flachgründung
2.8 Belag, Oberflächen- und Korrosionsschutz:	Grundierung mit Epoxidharz, bituminöse Dichtungsbahn und Gussasphalt

3. Baustoffe

- 3.1 Überbau:** B 450 (entspricht C30/37); Fahrbahnplatte B 300 (entspricht C20/25); Betonstahl BSt 22/34 RU (I R) ($f_{yk} = 220 \text{ N/mm}^2$) und BSt II; interner Spannstahl längs in Hohlkastenstegen ($f_{p0,2k} = 1230 \text{ N/mm}^2$, $f_{pk} = 1375 \text{ N/mm}^2$); interner Spannstahl quer in Fahrbahnplatte und Querträgern ($f_{p0,2k} = 1325 \text{ N/mm}^2$, $f_{pk} = 1470 \text{ N/mm}^2$)
- 3.2 Pfeiler / Stützen:** B 300 (entspricht C20/25); Pfeilerkopf: B 450 (entspricht C30/37), Betonstahl BSt 22/34 RU (I R) ($f_{yk} = 220 \text{ N/mm}^2$)
- 3.3 Widerlager:** B 300 (entspricht C20/25); Auflagerbank: B 450 (entspricht C30/37), Betonstahl BSt 22/34 RU (I R) ($f_{yk} = 220 \text{ N/mm}^2$) und BSt II

4. Baugrund

-

5. Besondere, für das Verstärkungserfordernis bedeutsame Bauwerks- und Bauteilmerkmale

Neben einem insgesamt schlechten baulichen Zustand wurden für das Baujahr typische Defizite im Bereich der Koppelfugen (Koppelfugenproblematik) und der Querkrafttragfähigkeit festgestellt.

Angaben zur Art der Verstärkung

- 1. Kurzbeschreibung:** Zusätzliche Vorspannung (zentrisch) / Querkraft- und Torsionsverstärkung mit Stabspanngliedern
- 2. Grund und Ursache bzw. Ziel der Verstärkung:** Schadensbeseitigung, Beseitigung von Tragfähigkeitsdefiziten und Traglasterhöhung von BK 60 auf BK 60/30
- 3. Verstärkte Bauteile:** Verstärkung des Überbaus in Längsrichtung mit externen Spanngliedern / Querkraft- und Torsionsverstärkung der Hohlkastenstege und der Bodenplatte mit Stabspanngliedern
- 4. Verstärkungsanwendung:** Global (externe Vorspannung) und lokal (Querkraft- und Torsionsverstärkung)
- 5. Kosten der Verstärkungsmaßnahme:**
 - insgesamt: ca. 2.250.000 € (TBW 2)
 - bezogen auf die Brückenfläche: ca. 362 €/m²
- 6. Zeitraum der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme:** 2010 – 2011 (14 Monate)
- 7.1 Nutzungseinschränkung während der Verstärkungsmaßnahme:** Sperrung eines Fahrstreifens (in jeder Bauphase wurden zwei Fahrstreifen von ursprünglich drei Fahrstreifen je Fahrtrichtung aufrecht erhalten)
- 7.2 Nutzungseinschränkung nach der Verstärkungsmaßnahme:** Keine

8. Voraussichtliche Nutzungsdauer:

Beide Teilbauwerke der Brücke sollten zeitnah durch einen Neubau ersetzt werden. Bei der Verstärkungsmaßnahme von TBW 2 handelte es sich daher um eine "Notinstandsetzung" für eine Lebensdauer von ca. 10 Jahren mit dem Ziel, Brückenklasse 60/30 zu erreichen, sodass das TBW 2 während der Erneuerung des TBW 1 einen 4+0-Verkehr aufnehmen konnte.

Ursachen für den Verstärkungsbedarf

Bei einer Nachrechnung wurden große Tragfähigkeitsdefizite festgestellt, die eine Verstärkung dringend erforderlich machten. Unter anderem (siehe auch Beispiel 1.5) war keine ausreichende Querkraft- und Torsionstragfähigkeit gegeben. Die Anschlüsse der Bodenplatte an die Stege wiesen Defizite auf. Die Brücke befand sich zudem in einem sehr schlechten Zustand. Dabei wurde die aus zwei

Teilbauwerken bestehende Brücke bereits Ende der 90er Jahre grundhaft instandgesetzt.

Aufgrund des ungewöhnlich hohen Grades an Vorschädigungen wurde bei Teilbauwerk 1 von einer Notinstandsetzung abgesehen und umgehend eine Erneuerung dieses Überbaus vorgenommen. Die Verstärkung erfolgte daher nur für das Teilbauwerk 2, sodass das dieses während der Erneuerung von TBW 1 einen 4+0-Verkehr aufnehmen konnte.

Beschreibung der Verstärkung

Die Verstärkungsmaßnahmen erfolgten im Sinne einer sogenannten Notinstandsetzung. Das Teilbauwerk 2 der Brücke (Bild 1) wurde hierbei unter Berücksichtigung einer definierten Restnutzungsdauer von ca. zehn Jahren auf Brückenklasse 60/30 ertüchtigt. Gleichzeitig wurden alle bekannten Schäden, die die uneingeschränkte Nutzung der Brücke während der Restnutzungsdauer nochmals behindern könnten, beseitigt. Hierbei wurden Beton-Instandsetzungsarbeiten nach ZTV-ING soweit wie möglich auf einen minimalen Umfang beschränkt.

Neben der nachfolgend beschriebenen Querkraftverstärkung wurde die Brücke durch eine zusätzliche Vorspannung und eine Torsionsverstärkung ertüchtigt. Die vollständige Beschreibung der Verstärkungsmaßnahmen ist in Beispiel 1.5 wiedergegeben.

Die Querkraftverstärkung erfolgte durch vertikal angeordnete Stabspannglieder an der Außenseite der Stege im Bereich der Achsen B bis J (Bilder 2 bis 5). Der prinzipielle Bauablauf zur

Herstellung der Querkraftverstärkung sah laut Entwurfsplanung nach dem Einmessen der planmäßigen Lage der vertikalen Stegspannglieder den Einbau und die Befestigung der Stahlträger (U400) am Überbau mit im Stegbereich angebrachten Verbundankern vor. Anschließend wurden die Kernbohrungen für die spätere Verankerung der Spannglieder in der Fahrbahnplatte hergestellt (Bild 4). Da die Stabspannglieder in eine Betonvorsatzschale eingebunden werden sollten, wurden die Stegaußenflächen mittels Höchstdruckwasserstrahlen aufgeraut und so für die spätere Herstellung der Betonvorsatzschale vorbereitet. Nach dem Einbau der Stegspannglieder unter handfester Vorspannung und der Herstellung der Betonvorsatzschale (Bild 5) unter Verwendung von Anschlussbewehrung wurden die Stabspannglieder mit einer maximalen Vorspannkraft von 464 kN vorgespannt und anschließend verpresst. Abschließend wurden Abdichtung und Belag auf der Fahrbahnplatte ergänzt.

Folgerungen

Mit Hilfe der beschriebenen Maßnahmen (zusätzliche zentrische Vorspannung, Querkraft- und Torsionsverstärkung mit Stabspanngliedern,

siehe auch Beispiel 1.5) konnten die festgestellten Defizite erfolgreich und möglichst schonend in additiver Weise beseitigt werden.

Bilder und Bauwerksskizzen



Bild 1: Übersichtsfoto des Brückenbauwerks

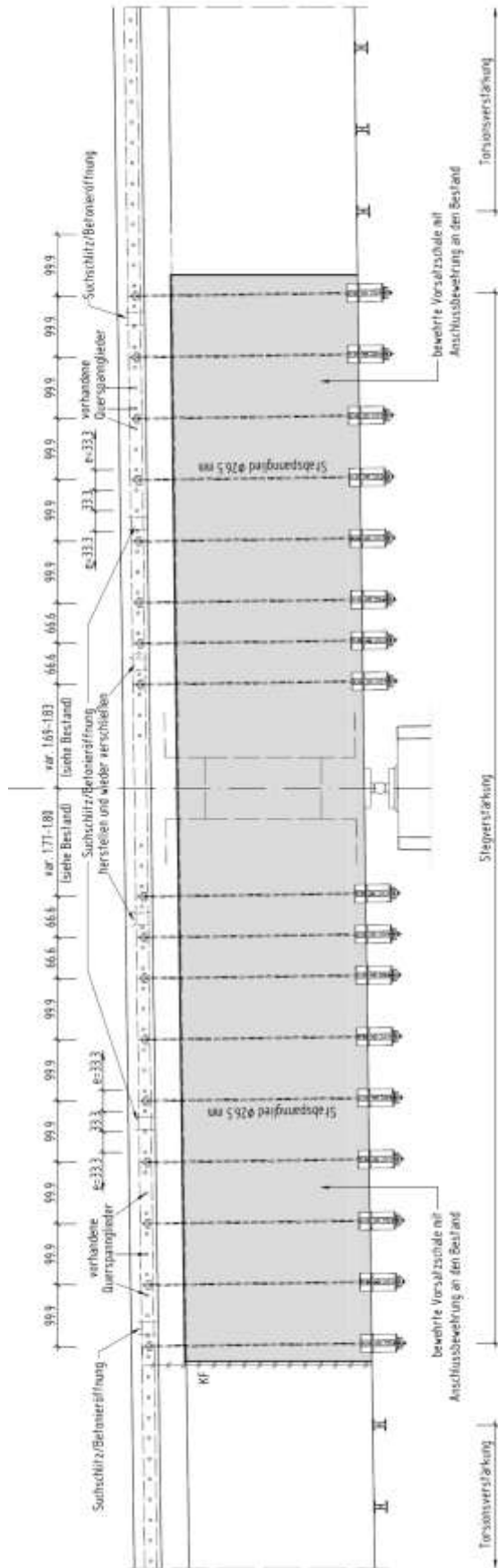
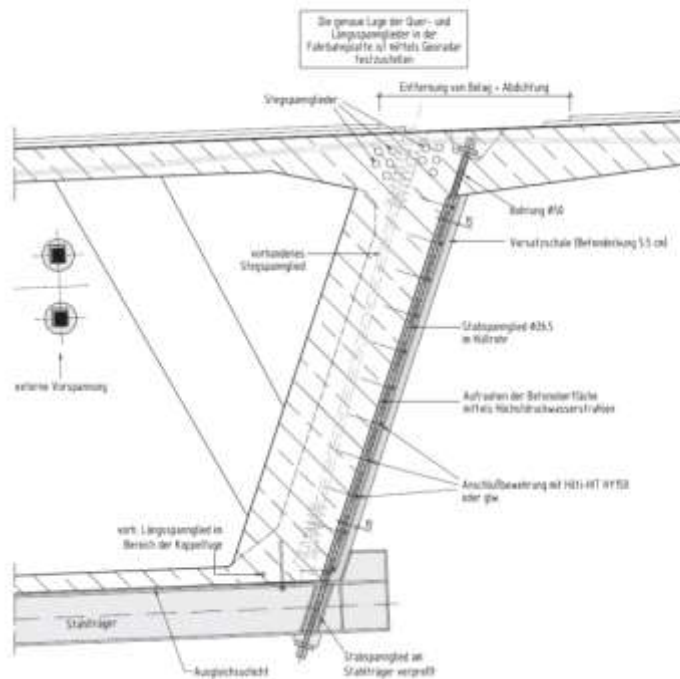


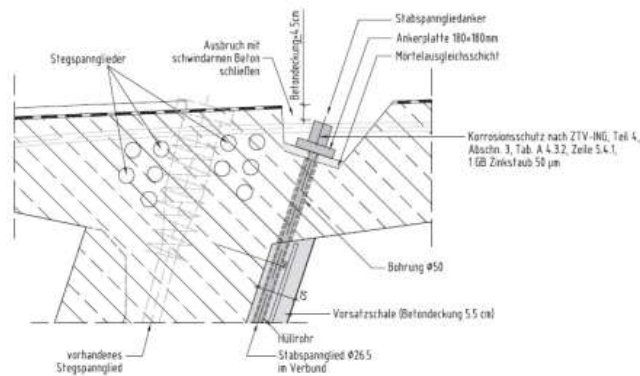
Bild 2: Querkraftverstärkung, Längsansicht (Entwurfsplanung)

QUERSCHNITT HOHLKASTENSTEG - STEGVERSTÄRKUNG



DETAILS STABSPANNGLIED

Verankerung in der Fahrbahnplatte



Verankerung am Stahlträger

Querschnitt Stahlträger

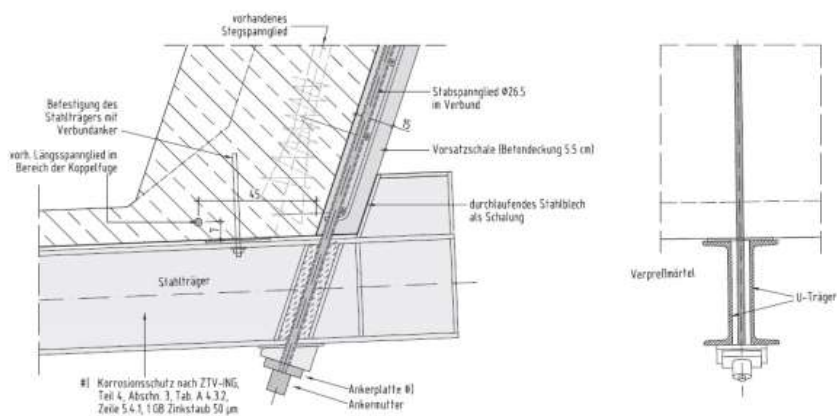


Bild 3: Querkraftverstärkung, Querschnitt und Details (Entwurfsplanung)



Bild 4: Kernbohrungen und Verankerungsdetail in der Fahrbahnplatte der Querkraftverstärkung (Ausführung)



Bild 5: Querkraftverstärkung (Ausführung)

Verstärkung 2.6: **Hohlkastenquerschnitt mit zusätzlicher externer polygonaler und interner parabel-förmiger Vorspannung und Querkraftverstärkung mit Stabspanngliedern und Schublaschen zur Erweiterung der Brücke um eine 5. Fahrspur**

Bauwerksdaten

1. Allgemeine Angaben

1.1 Einzel- und Gesamtstützweiten:	32,75 + 45,80 + 41,05 = 119,60	m
1.2 Zahl der Felder:	3	
1.3 Breite zwischen den Geländern:	16,85	m
1.4 Brückenfläche:	2015	m ²
1.5 Bauwerkswinkel:	93	gon
1.6 Brückenklasse (vor der Verstärkung):	BK 60/30 (DIN 1072)	
1.7 Brückenklasse (nach der Verstärkung):	BK 60/30 (DIN 1072)	
1.8 Baujahr:	1988	
1.9 Baukosten insgesamt:	4.149.000 DM \approx 2.121.350	€
1.10 Baukosten bezogen auf Brückenfläche:	1053	€/m ²

2. Angaben zur Konstruktion

2.1 Hauptbaustoff:	Spannbeton
2.2 Bauwerkssystem in Längsrichtung:	Im Grundriss gekrümmter Mehrfeldträger mit Durchlaufwirkung (R < 500 m)
2.3 Bauwerkssystem in Querrichtung:	Mehrzelliger Hohlkasten
2.4 System der Lagerung:	Bewegliche Lagerung (Elastomerlager)
2.5 Pfeiler / Stützen:	Rundstütze
2.6 Widerlager:	Kastenförmig
2.7 Gründung:	Flachgründung
2.8 Belag, Oberflächen- und Korrosionsschutz:	Dichtungsschicht, 4,5 cm Splittmastixasphalt

3. Baustoffe

3.1 Überbau:	Bn 450 (entspricht C35/45); Betonstahl BSt 500 S (IV S) ($f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$); Spannstahl längs in Hohlkastenstegen und quer in Fahrbahnplatte: St 1570/1770 ($f_{p0,2k} = 1570 \text{ N/mm}^2$, $f_{pk} = 1770 \text{ N/mm}^2$)
3.2 Pfeiler / Stützen:	Bn 350 (entspricht C25/30), Pfeilerknoten: Bn 450 (entspricht C35/45); Betonstahl BSt 500 S (IV S) ($f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$)

3.3 Widerlager: Bn 250 (entspricht C20/25); Betonstahl BSt 500 S (IV S) ($f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$)

4. Baugrund Granit / Gneis

5. Besondere, für das Verstärkungserfordernis bedeutsame Bauwerks- und Bauteilmerkmale

Im Zuge der Verstärkung wird der Überbau um eine Fahrspur erweitert (vorher Geh- und Radweg).

Angaben zur Art der Verstärkung

- | | |
|--|--|
| 1. Kurzbeschreibung: | Zusätzliche Vorspannung bereichsweise extern, polygonal und bereichsweise intern, parabelförmig, zusätzlicher Stahlbetonbalken (SV-Beton), Querkraftverstärkung mit Stabspanngliedern und Schublaschen |
| 2. Grund und Ursache bzw. Ziel der Verstärkung: | Traglasterhöhung: Bau einer zusätzlichen Fahrspur im Bereich des ehemaligen Fuß-/Radweges |
| 3. Verstärkte Bauteile: | Verstärkung des Überbaus in Längsrichtung mit zusätzlichen Spanngliedern (extern und intern) / Verstärkung der Hohlkastenstege durch Stabspannglieder und Schublaschen |
| 4. Verstärkungsanwendung: | Global (Vorspannung) und lokal (Stegverstärkung) |
| 5. Kosten der Verstärkungsmaßnahme: | |
| - insgesamt: | 153.374 € |
| - bezogen auf die Brückenfläche: | 76 €/m ² |
| 6. Zeitraum der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme: | 2005 (6 Monate) |
| 7.1 Nutzungseinschränkung während der Verstärkungsmaßnahme: | Umleitung des Schwerlastverkehrs |
| 7.2 Nutzungseinschränkung nach der Verstärkungsmaßnahme: | Keine |
| 8. Voraussichtliche Nutzungsdauer: | Dauerhaft |

Ursachen für den Verstärkungsbedarf

Die Brücke wurde durch den Rückbau der Geh- und Radwege um eine zusätzliche Fahrspur erweitert. Um die dadurch steigenden Verkehrs-

belastungen abtragen zu können, wurden umfangreiche Verstärkungsmaßnahmen notwendig.

Beschreibung der Verstärkung

Zur Erweiterung der Brücke um die 5. Fahrspur anstelle des Geh- und Radweges wurde der Steg an der Ostseite mittels zusätzlicher Querkraftbewehrung in Form von Stabspanngliedern und Schublaschen verstärkt. Der Steg an der Westseite wurde durch einen zusätzlichen Längsbalken an der Hohlkastenaußen-seite verbreitert und durch zusätzliche verbundlose Vorspannung (abschnittsweise intern bzw. extern) verstärkt. Die vollständige Beschreibung der Verstärkungsmaßnahmen ist in Beispiel 1.8 wiedergegeben.

Im Folgenden wird die Vorgehensweise im Zuge der Querkraftverstärkung des östlichen Steges (Bilder 1 und 2) zwischen den Achsen 10 und 20 erläutert. Zunächst wurde die Lage der vorhandenen Querspannglieder und der Betonstahl-Querbewehrung durch Suchschlitze im Stegbereich erkundet (Länge und Abstand der Suchschlitze ca. 1 m, ggf. dichter). Hierbei war darauf zu achten, die Betonstahlbewehrung und die Hüllrohre der Querspannglieder nicht zu beschädigen und ein Eindringen von Wasser in die Hüllrohre unbedingt zu vermeiden. Anschließend wurden die Aussparungen für die oberen Ankerplatten erstellt, wobei die vorhandene Betonstahlbewehrung nicht beschädigt werden durfte. Wenn die gesamte Verankerung nicht innerhalb der Betondeckung Platz hatte, wurden die Ankerplatten zwischen die Betonstahlquerbewehrung entsprechend tiefer angeordnet. Hierzu mussten die Achsen der Gewindestäbe in Brückenlängsrichtung gegebenenfalls entsprechend verschoben werden.

Nach Herstellung der Bohrungen in Fahrbahn- und Bodenplatte wurden die Abstände der unteren Bohrungen von der Stegaußenkante für die Herstellung der Verstärkungsbügel (gekrümmte Schublaschen) ermittelt. Anschließend wurden Aussparungen für die unteren Ankerplatten erstellt, die Hohlkastenaußenkante abgerundet und die Betonoberfläche für den späteren Auftrag von Spritzbeton durch kuppenartiges Freilegen des Grobkorns gemäß ZTV-ING vorbereitet. Anschließend wurden die insgesamt 67 Verstärkungsbügel bestehend aus Stabspanngliedern und gekrümmten Schublaschen mit Abständen von 20 bis 80 cm eingebaut (Bilder 1 und 1). Dabei war darauf zu achten, dass der Ankerkeil und der untere Flachstahlschenkel einschließlich der Rundung satt am Bestandssteg anlag. Dies konnte durch Einsetzen in ein Mörtelbett oder nachträglichen Verguss erfolgen. Der Verguss der unteren und oberen Bohrungen und das Untergießen der Ankerplatten und Ankerkeile erfolgte mit schwindfreiem Vergussmörtel. Nach der Erhärtung des Vergussmörtels wurden die Verstärkungsbügel in Stufen von 50 % der Vorspannkraft abwechselnd jeweils innen und außen vorgespannt. Abschließend wurden die Ausbruchöffnungen mit schwindfreiem Beton geschlossen, die Stahlflächen für einen ausreichenden Haftverbund vorbereitet und der Spritzbeton aufgebracht. Für die Verstärkung wurde eine Zustimmung im Einzelfall erwirkt.

Folgerungen

Durch Rückbau der Geh- und Radwege und der beschriebenen Verstärkung (siehe auch Beispiel

1.8) konnte eine weitere Fahrspur eingerichtet werden.

Bilder und Bauwerksskizzen

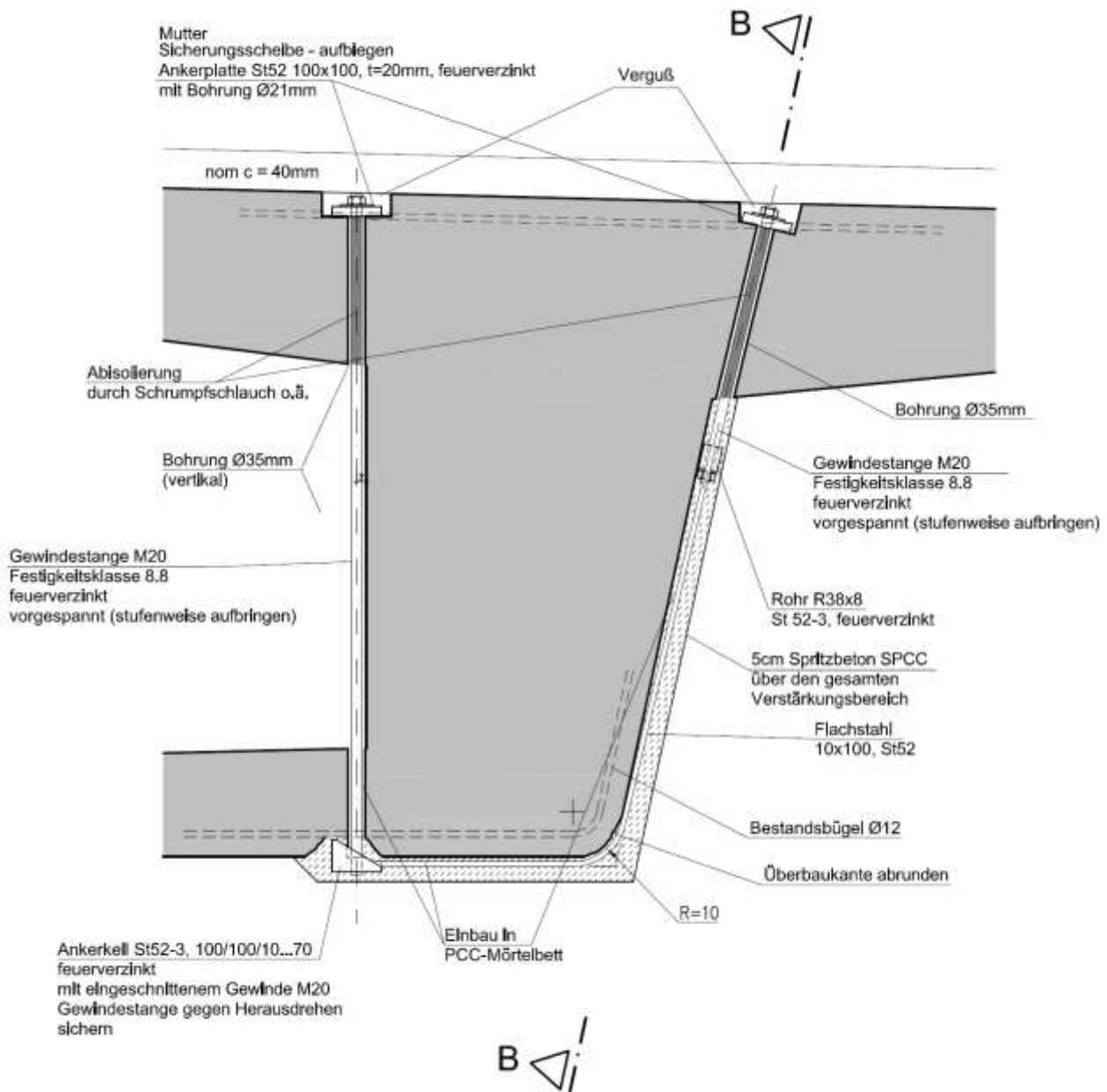


Bild 1: Detail der Querkraftverstärkung Steg Ostseite

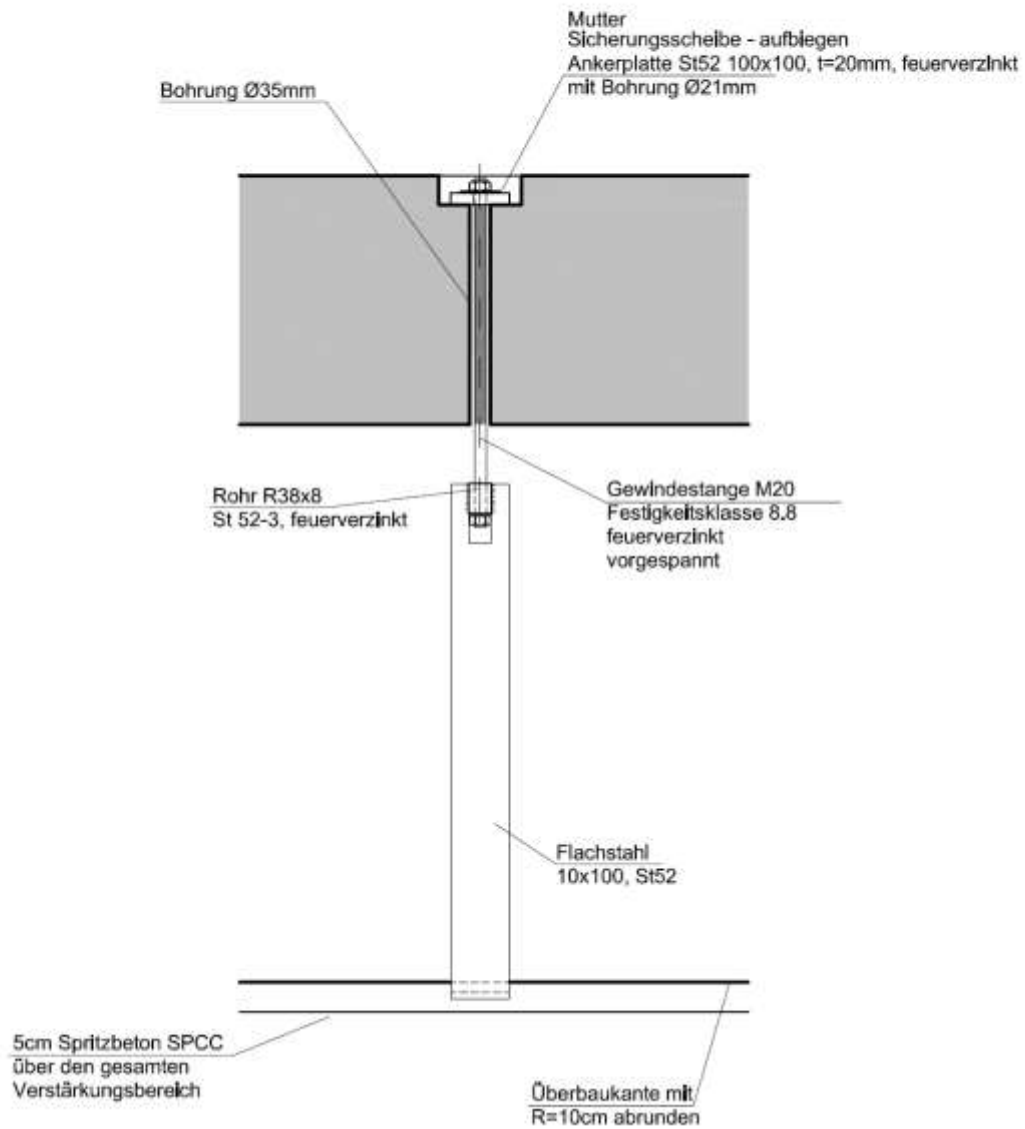


Bild 2: Detail der Querkraftverstärkung Steg Ostseite
(Schnitt B-B aus Bild)

Verstärkung 3.1: Aufbeton mit Verdübelung im Zuge einer Gesamteinstandsetzung und zur Erhöhung der Brückenklasse

Bauwerksdaten

1. Allgemeine Angaben

1.1 Einzel- und Gesamtstützweiten:	8,2	m
1.2 Zahl der Felder:	1	
1.3 Breite zwischen den Geländern:	12,2	m
1.4 Brückenfläche:	100	m ²
1.5 Bauwerkswinkel:	62,1	gon
1.6 Brückenklasse (vor der Verstärkung):	BK 60 (DIN 1072)	
1.7 Brückenklasse (nach der Verstärkung):	BK 60/30 (DIN 1072)	
1.8 Baujahr:	1959	
1.9 Baukosten insgesamt:	-	€
1.10 Baukosten bezogen auf Brückenfläche:	-	€/m ²

2. Angaben zur Konstruktion

2.1 Hauptbaustoff:	Stahlbeton
2.2 Bauwerkssystem in Längsrichtung:	Einfeldträger
2.3 Bauwerkssystem in Querrichtung:	Stahlbetonplatte
2.4 System der Lagerung:	Betongelenke an den Widerlagern
2.5 Pfeiler / Stützen:	-
2.6 Widerlager:	-
2.7 Gründung:	Flachgründung
2.8 Belag, Oberflächen- und Korrosionsschutz:	Einlagige Bitumendichtungsbahn, Kupferriffelband ohne Trennschicht, Gussasphalt

3. Baustoffe

3.1 Überbau:	B 300 (entspricht C20/25); Betonstahl BSt 42/50 RK (III K) ($f_{yk} = 420 \text{ N/mm}^2$)
3.2 Pfeiler / Stützen:	-
3.3 Widerlager:	B 225 (entspricht C12/15); unbewehrt

4. Baugrund

Unter den flach gegründeten Widerlagern stehen graue mergelige Tone an

5. Besondere, für das Verstärkungserfordernis bedeutsame Bauwerks- und Bauteilmerkmale

Keine besonderen Merkmale.

Angaben zur Art der Verstärkung

- | | | |
|-----|--|--|
| 1. | Kurzbeschreibung: | Traglasterhöhung durch Ergänzung der Druckzone mit Aufbeton unter Reduzierung der Belagshöhe |
| 2. | Grund und Ursache bzw. Ziel der Verstärkung: | Gesamtinstandsetzung der Brücke, Traglasterhöhung |
| 3. | Verstärkte Bauteile: | Überbau |
| 4. | Verstärkungsanwendung: | Global |
| 5. | Kosten der Verstärkungsmaßnahme: | |
| | - insgesamt: | 33.000 € |
| | - bezogen auf die Brückenfläche: | 330 €/m ² |
| 6. | Zeitraum der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme: | 2011 (6 Monate) |
| 7.1 | Nutzungseinschränkung während der Verstärkungsmaßnahme: | Halbseitige Sperrung |
| 7.2 | Nutzungseinschränkung nach der Verstärkungsmaßnahme: | Keine |
| 8. | Voraussichtliche Nutzungsdauer: | Dauerhafte Verstärkung |

Ursachen für den Verstärkungsbedarf

Die Verstärkung wurde aufgrund des Bauwerksalters im Zuge einer Gesamtinstandsetzung der Brücke durchgeführt. Durch die Verstärkung wurde eine Einstufung in eine höhere Brückenklasse angestrebt. Der Belagsaufbau des Bestandes bestand aus 2 - 4,5 cm Deckschicht aus Splittmastixasphalt,

3,5 – 5 cm bituminöser Schicht aus Recyclingmaterial und 8 – 12 cm Schutzbeton, wobei die unteren 3 – 9 cm des Schutzbetons stark verwittert waren. Bei der Belagsöffnung war keine Abdichtung erkennbar.

Beschreibung der Verstärkung

Im Zuge der Gesamtinstandsetzung wurde der bis zu 21 cm dicke bestehende Belagsaufbau entfernt. Die Plattenoberseite wurde anschließend mit Druckwasserstrahlen vorbereitet (Bilder 9 und 10, ca. 1 – 2 cm Betonabtrag) und der Aufbeton der Festigkeitsklasse C35/45 mit einer Mindestdicke von $h = 13$ cm (i.M. ca. 19 cm) aufgebracht und schubfest verankert. Die Verbundanker

($d = 12$ mm) sind aus Bewehrungsstahl und wurden im Abstand $a = 20/35$ cm angeordnet (Bilder 6 und 10). Der Aufbeton erstreckt sich monolithisch auf die Seitenstreifen und Flügeloberseiten.

Auf die vorbereitete Oberfläche wurde ein neuer Belag, bestehend aus einlagiger Bitumenschweißbahn, Schutzschicht aus GA, vorläufige

Deckschicht aus GA und Deckschicht aus SMA, aufgebracht. Im Zuge der Gesamtinstandsetzung wurden Betonschadstellen an der Überbauuntersicht und den Unterbausicht-

flächen ausgebessert. Eventuell freiliegende Bewehrung wurde entrostet und beschichtet, die Ausbrüche wurden mit PCC-Mörtel reprofiliert.

Folgerungen

Bei Vorliegen eines verhältnismäßig hohen Belagenaufbaus stellt dieses Verfahren eine günstige Möglichkeit zur Verstärkung dar. Die

Brückenkategorie konnte durch die Verstärkung von BK 60 auf BK 60/30 erhöht werden.

Bilder und Bauwerksskizzen



Bild 1: Übersichtsfoto des Brückenbauwerks

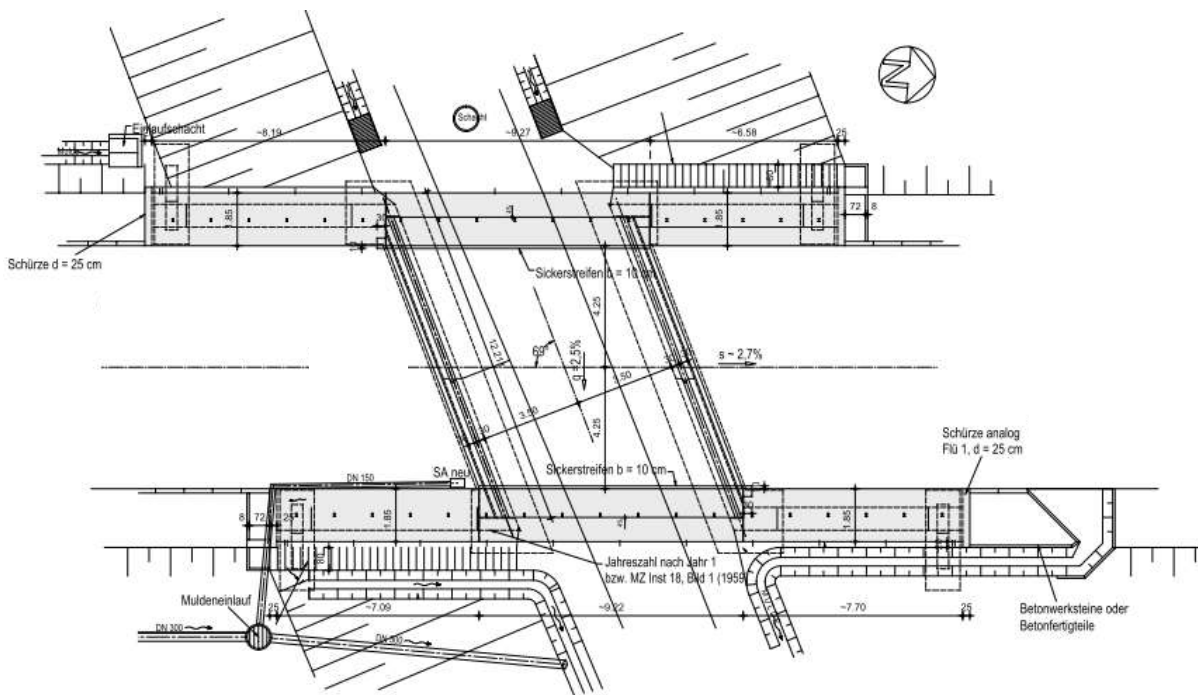


Bild 2: Draufsicht



Bild 3: Längsschnitt (Bestand)



Bild 4: Regelquerschnitt Überbau B-B (Bestand)

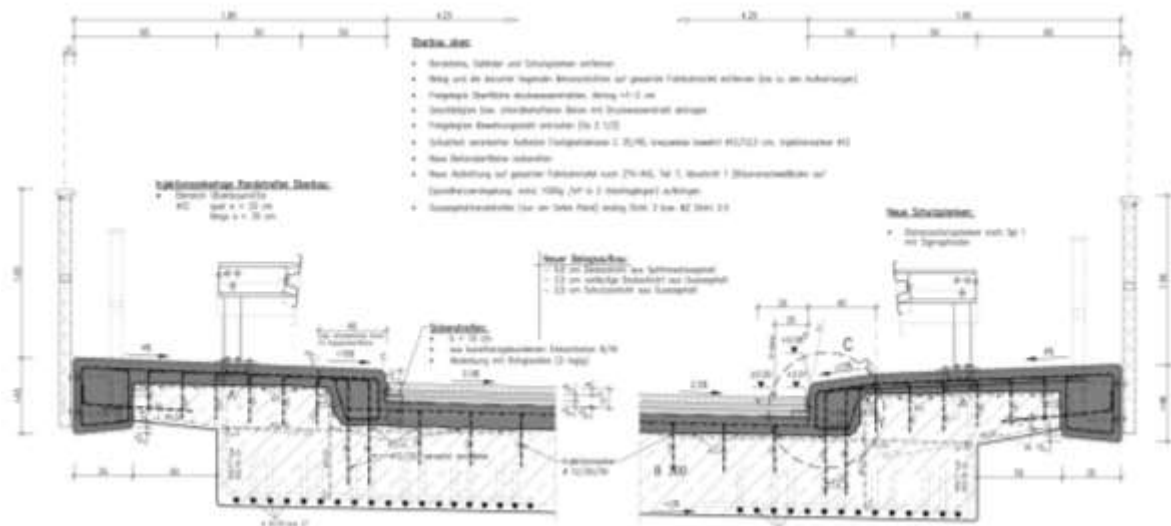


Bild 5: Instandsetzung des Überbaus, Regelquerschnitt in Überbaumitte

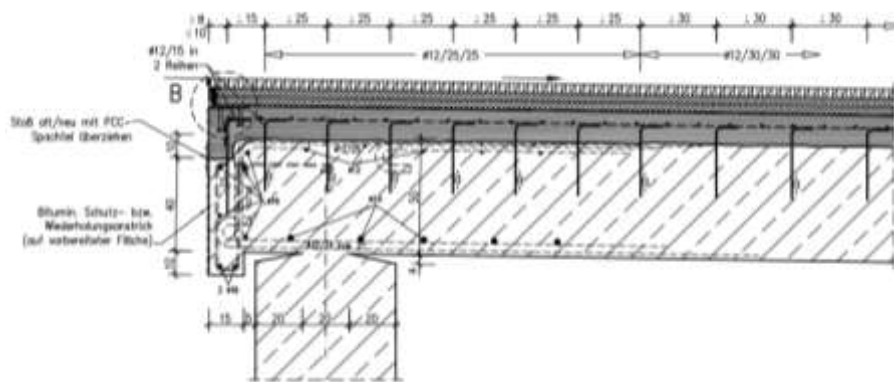


Bild 6: Ankerlage am Überbauende

Die kreuzweise Bewehrung des Aufbetons ist parallel bzw. senkrecht zur Achse anzuordnen!
Die Ausrichtung der Injektionsanker erfolgt parallel bzw. senkrecht zum Widerlager!

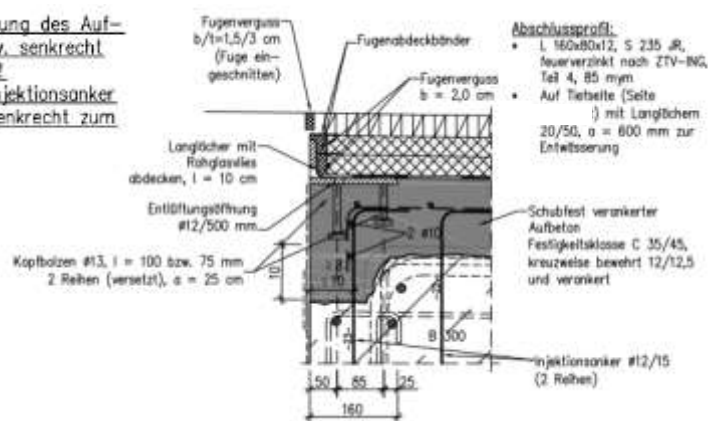


Bild 7: Detail B: Überbauabschluss analog MZ Instandsetzung 5.6



Bild 11: Eingebaute Bewehrung des Aufbetons und Verbundbewehrung zwischen Bestand und Aufbeton

Verstärkung 3.2: Aufbeton mit Verdübelung zur Erhöhung der Brückenklasse im Zuge einer Gesamtinstandsetzung eines Dreifeldträgers

Bauwerksdaten

1. Allgemeine Angaben

1.1 Einzel- und Gesamtstützweiten:	8 + 11,4 + 8 = 27,4	m
1.2 Zahl der Felder:	3	
1.3 Breite zwischen den Geländern:	11,1	m
1.4 Brückenfläche:	304	m ²
1.5 Bauwerkswinkel:	100	gon
1.6 Brückenklasse (vor der Verstärkung):	BK 30/30 (DIN 1072)	
1.7 Brückenklasse (nach der Verstärkung):	BK 60/30 (DIN 1072)	
1.8 Baujahr:	1939	
1.9 Baukosten insgesamt:	55.000 DM \triangleq 28.121	€
1.10 Baukosten bezogen auf Brückenfläche:	93	€/m ²

2. Angaben zur Konstruktion

2.1 Hauptbaustoff:	Stahlbeton
2.2 Bauwerkssystem in Längsrichtung:	Dreifeldträger
2.3 Bauwerkssystem in Querrichtung:	3-stegiger Plattenbalken mit Querträgern im Feld und in den Auflagerachsen
2.4 System der Lagerung:	Rollenlager ohne besondere Kippvorrichtung an den Widerlagern, die Pfeiler sind monolithisch mit dem Überbau verbunden
2.5 Pfeiler / Stützen:	Massiv, Beton-Pendelstütze mit Federgelenken oder Bleigelenken oben und unten
2.6 Widerlager:	-
2.7 Gründung:	Flachgründung
2.8 Belag, Oberflächen- und Korrosionsschutz:	-

3. Baustoffe

3.1 Überbau:	Stahlbeton, Aufbeton (C35/45)
3.2 Pfeiler / Stützen:	Stahlbeton
3.3 Widerlager:	Stahlbeton

4. Baugrund

-

5. Besondere, für das Verstärkungserfordernis bedeutsame Bauwerks- und Bauteilmerkmale

Vor der Verstärkungsmaßnahme war die Brücke für den Schwerlastverkehr gesperrt, sodass Schwerlastfahrzeuge eine Ausweichroute fahren mussten. Seit der Verstärkungsmaßnahme ist die Brücke für Schwerlastfahrzeuge freigegeben.

Angaben zur Art der Verstärkung

- | | |
|---|--|
| 1. Kurzbeschreibung: | Gesamtinstandsetzung der Brücke mit Verstärkung durch Aufbeton |
| 2. Grund und Ursache bzw. Ziel der Verstärkung: | Gesamtinstandsetzung der Brücke, Traglasterrhöhung |
| 3. Verstärkte Bauteile: | Überbau |
| 4. Verstärkungsanwendung: | Global |
| 5. Kosten der Verstärkungsmaßnahme: | |
| - insgesamt: | 66.000 € |
| - bezogen auf die Brückenfläche: | 217 €/m ² |
| 6. Zeitraum der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme: | 2009 (4 Monate) |
| 7.1 Nutzungseinschränkung während der Verstärkungsmaßnahme: | Halbseitige Sperrung |
| 7.2 Nutzungseinschränkung nach der Verstärkungsmaßnahme: | Keine |
| 8. Voraussichtliche Nutzungsdauer: | Dauerhafte Verstärkung |

Ursachen für den Verstärkungsbedarf

Die Verstärkung wurde im Zuge einer Gesamtinstandsetzung der Brücke durchgeführt.

Durch die Verstärkung wurde eine Einstufung in eine höhere Brückenklasse angestrebt.

Beschreibung der Verstärkung

Im Zuge der Gesamtinstandsetzung wurde der bis zu 25 cm dicke bestehende Belag aufbau entfernt. Die Fahrbahnoberseite wurde anschließend mit Druckwasserstrahlen vorbereitet (Bild 6, ca. 1 – 2 cm Betonabtrag). Der geschädigte Beton wurde mit HDW ausgebrochen und der freigelegte Bewehrungsstahl entrostet. Die Verbundanker (Peikko IPI Kopfbolzen, $d = 12$ mm) wurden

gestaffelt im Abstand $a = 20 - 50$ cm angeordnet (Bilder 9 und 10). Anschließend wurde ein Aufbeton der Festigkeitsklasse C35/45 mit einer Dicke von $h \approx 20$ cm aufgebracht und schubfest verankert (Bild 7). Im Schrammbordbereich erfolgte zusätzlich eine Abdeckung mit Schutzlage und Verstärkungstreifen nach RIZ-ING Dicht 3. Der Aufbeton im Kappenbereich weist eine Betonfestigkeit C25/30 LP auf.

Folgerungen

Bei Vorliegen eines verhältnismäßig hohen Belagsaufbaus stellt dieses Verfahren eine günstige Möglichkeit zur Verstärkung dar.

Bilder und Bauwerksskizzen



Bild 1: Übersichtsfoto des Brückenbauwerks

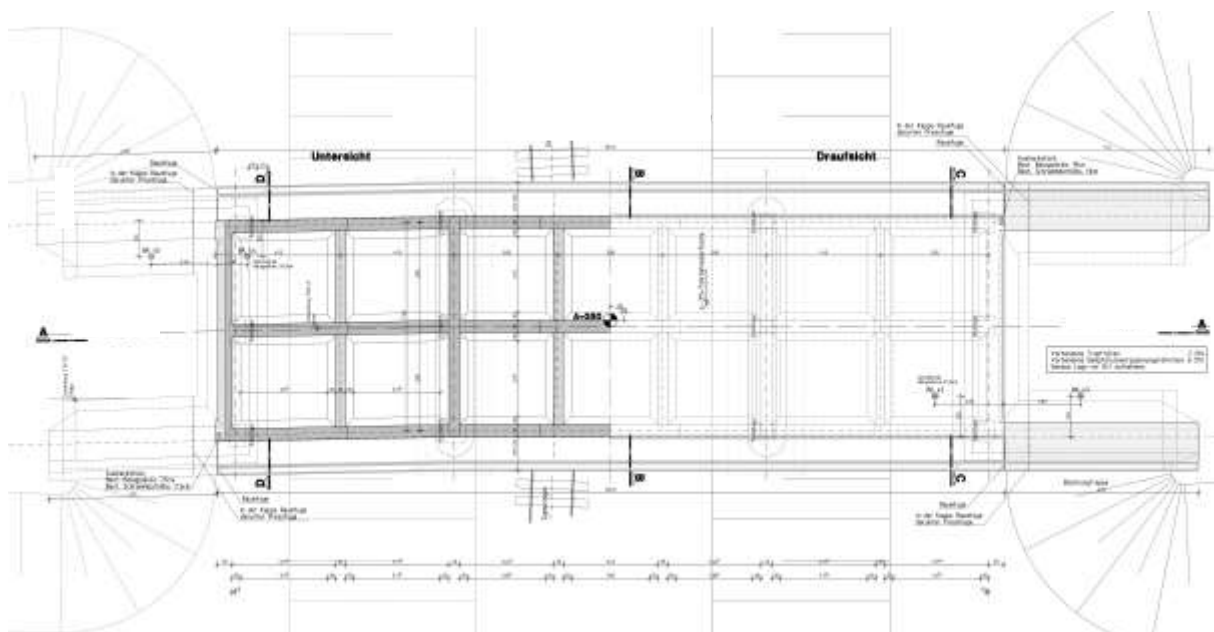


Bild 2: Draufsicht



Bild 6: Aufgeraute Betonplatte des Überbaus

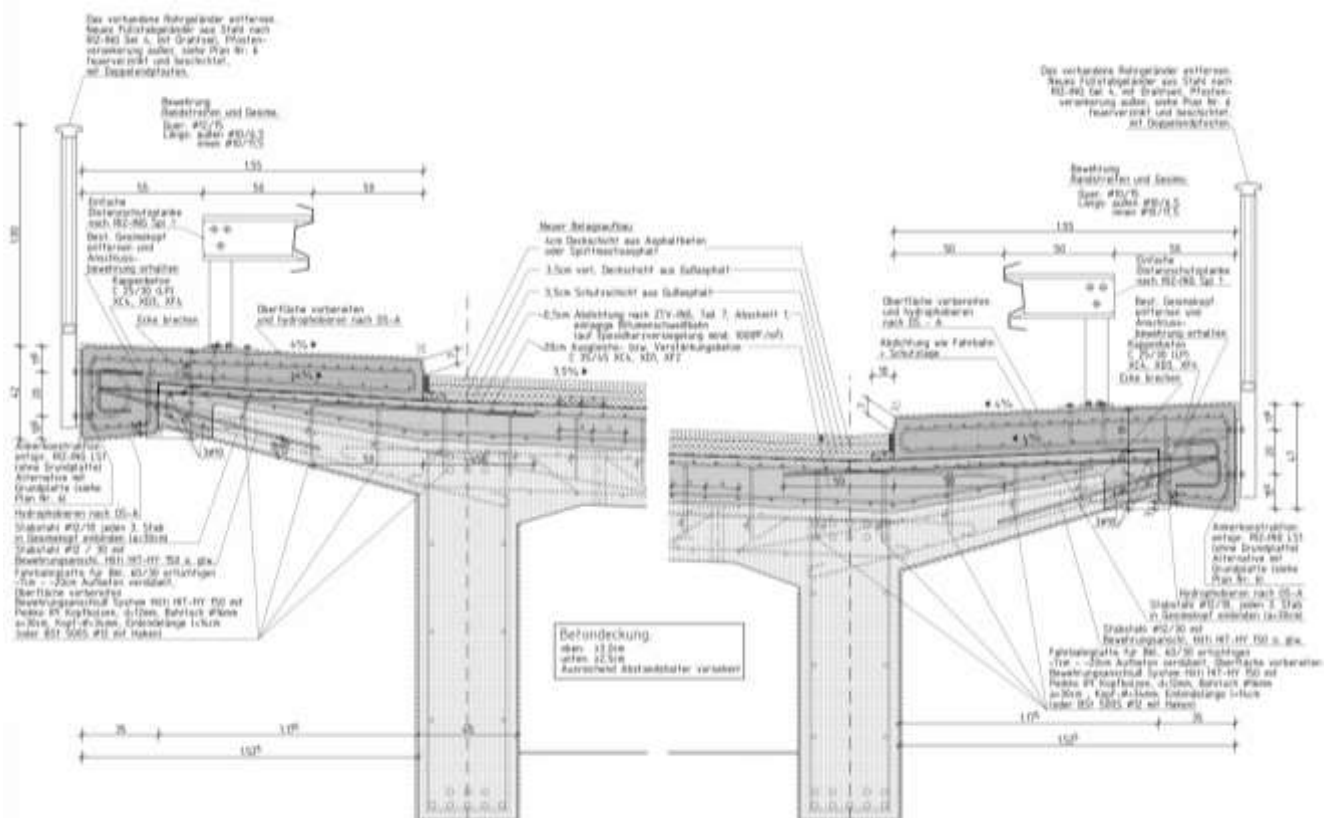


Bild 7: Instandsetzung des Überbaus, Querschnitt



Bild 8: Eingebaute Steckbügel der Fahrbahnplatte



Bild 9: Gestaffelte Anordnung der Verbundanker



Bild 10: Gestaffelte Anordnung der Verbundanker und Steckbügel der Fahrbahnplatte

Verstärkungstechnik:	3. Aufbeton mit Verdübelung	Lfd. Nr.:	3.3	Blatt:	1
Verstärkung 3.3:		Aufbeton mit Verdübelung im Rahmen einer temporären Instandsetzung einer Hohlkörperplatte			
Bauwerksdaten					
1. Allgemeine Angaben					
1.1	Einzel- und Gesamtstützweiten:	16,45		m	
1.2	Zahl der Felder:	1			
1.3	Breite zwischen den Geländern:	16,65 (außerhalb Ausweitungsbereich)		m	
1.4	Brückenfläche:	274		m ²	
1.5	Bauwerkswinkel:	100		gon	
1.6	Brückenklasse (vor der Verstärkung):	BK 60 (DIN 1072)			
1.7	Brückenklasse (nach der Verstärkung):	BK 60 (DIN 1072)			
1.8	Baujahr:	1965			
1.9	Baukosten insgesamt:	597.562 DM \pm 305.529		€	
1.10	Baukosten bezogen auf Brückenfläche:	1115		€/m ²	
2. Angaben zur Konstruktion					
2.1	Hauptbaustoff:	Spannbeton			
2.2	Bauwerkssystem in Längsrichtung:	Einfeldträger			
2.3	Bauwerkssystem in Querrichtung:	Quervorgespannte Hohlkörperplatte			
2.4	System der Lagerung:	Verformungslager allseits beweglich (verformbar), bewehrt, ohne Festhaltung, 11 Stück Neopren-Lager 200 x 300 x 21 mm			
2.5	Pfeiler / Stützen:	-			
2.6	Widerlager:	Winkelstützwand			
2.7	Gründung:	Flachgründung			
2.8	Belag, Oberflächen- und Korrosionsschutz:	Vor der Verstärkung: 3,5 cm bit. Dichtungsbahn und Gussasphalt, 5 cm Asphaltbinder 0/25, 3,5 cm Asphaltfeinbeton 0/12			
3. Baustoffe					
3.1	Überbau:	Bn 450 (entspricht C35/40); Betonstahl BSt IIIb ($f_{yk} = 400 \text{ N/mm}^2$) und BSt I ($f_{yk} = 220 \text{ N/mm}^2$); Spannstahl: 150/170 (BBRV-SUSPA, $f_{p0,2k} = 1470 \text{ N/mm}^2$, $f_{pk} = 1665 \text{ N/mm}^2$)			
3.2	Pfeiler / Stützen:	-			
3.3	Widerlager:	Bn 150 (entspricht C12/15); Betonstahl BSt IIIb ($f_{yk} = 400 \text{ N/mm}^2$) und BSt I ($f_{yk} = 220 \text{ N/mm}^2$), mit Natursteinverblendung; Auflagerbalken: Bn 250 (entspricht C20/25); Betonstahl BSt IIIb ($f_{yk} = 400 \text{ N/mm}^2$)			
Bund/Länder Dienstbesprechung Brücken- und Ingenieurbau			Erfahrungssammlung „Verstärkung von Betonbrücken“		137

4. Baugrund

Fels

5. Besondere, für das Verstärkungserfordernis bedeutsame Bauwerks- und Bauteilmerkmale

Die vorhandenen Einbaudicken des Straßenbelags auf dem Bauwerk gingen über das erforderliche Maß hinaus. Somit war die Ausbildung eines Aufbetons ohne allzu große Gradientenanhebung möglich.

Angaben zur Art der Verstärkung

- | | | |
|-----|--|---|
| 1. | Kurzbeschreibung: | Aufbeton mit Verdübelung im Rahmen einer temporären Instandsetzung |
| 2. | Grund und Ursache bzw. Ziel der Verstärkung: | Schadensbeseitigung; Wiederherstellung der Tragfähigkeit in Querrichtung |
| 3. | Verstärkte Bauteile: | Überbau |
| 4. | Verstärkungsanwendung: | Global, auf der Überbauplatte im Bereich der Fahrbahn zwischen den Kappen |
| 5. | Kosten der Verstärkungsmaßnahme: | |
| | - insgesamt: | 148.185 € |
| | - bezogen auf die Brückenfläche: | 541 €/m ² |
| 6. | Zeitraum der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme: | 2005 (4 Monate) |
| 7.1 | Nutzungseinschränkung während der Verstärkungsmaßnahme: | Sperrung für Schwerlastverkehr |
| 7.2 | Nutzungseinschränkung nach der Verstärkungsmaßnahme: | Wegen weiterer Mängel wurde die Sperrung für Schwerlastverkehr nicht aufgehoben |
| 8. | Voraussichtliche Nutzungsdauer: | Die Brücke wurde 2008 durch einen Neubau ersetzt |

Ursachen für den Verstärkungsbedarf

Bei Instandsetzungsarbeiten am Fahrbahnbelag und Fahrbahnanschluss wurden Schäden an der oberen Deckenplatte des Konstruktionsbetons über mehreren Schalungshohlkörpern festgestellt. An mehreren Stellen der oberen Deckenplatten lösten sich beim Abtragen des Asphaltbelages und der Abdichtung schollenartig Betonteile ab. Durch Ausführungsfehler bei der Herstellung der Hohlkörperplatte war die Dicke der oberen Deckenplatte in weiten Bereichen zu gering ausgebildet. Die Schalungskörper waren nicht ausreichend verankert und sind infolge des großen Auftriebs aufgeschwommen. In einigen Bereichen weist die unterschiedliche Deckenstärke darauf hin, dass zusätzlich die Steifigkeit

der Schalungskörper zu gering war und diese den Schalungsdruck nicht formtreu aufnehmen konnten. Dadurch sind sie teilweise nach oben ausgebeult. Beides hatte eine deutlich zu geringe Dicke der Deckenplatte von nur 6 cm anstatt der planmäßigen 17,5 cm zur Folge.

Die Platte war aufgrund der zu geringen Dicke nicht in der Lage, lokale Radlasten über Gewölbewirkung abzutragen. Die bereits geschädigten Bereiche waren ohne Verstärkungsmaßnahmen nicht mehr befahrbar. In den Bereichen zu geringer Plattendicke war die normgemäße Tragsicherheit in Querrichtung rechnerisch nicht mehr gegeben.

Eine zunehmende Schädigung war nicht auszuschließen, da das Überführungsbauwerk im Bereich einer Umleitungsstrecke einer

Bundesautobahn lag und mit schwerem Güterverkehr zu rechnen war.

Beschreibung der Verstärkung

Die obere Deckenplatte wurde durch eine Ortbetonergänzung ($80 \leq h \leq 100$ mm) mit entsprechender Verdübelung zum bestehenden Konstruktionsbeton verstärkt, um die erforderliche Dicke der Platte herzustellen. Dadurch entstand nur ein geringer Eingriff in die bestehende Konstruktion.

Die bereits geöffneten Verdrängungskörper wurden bis über die Stege kammartig freigestemmt und mit bewehrtem Ortbeton (C35/45) verschlossen. Danach wurde die Oberfläche insgesamt durch Höchstdruck-

wasserstählen (HDW) für die nachträgliche Ortbetonergänzung vorbereitet.

Anschließend wurden die Schubverbinder entsprechend Ausführungsplan gesetzt (Bilder 3 und 4), die Bewehrung verlegt und die Betonplatte betoniert. Da eine Rissbildung in der Ortbetonergänzung nicht ausgeschlossen werden kann, wurde eine kreuzweise verlegte Oberflächenbewehrung zur Rissbreitenbeschränkung vorgesehen, die die Risskraft abdeckt. Darauf wurde in gewohnter Weise eine Abdichtung und ein Fahrbahnbelag nach ZTV BEL B1 aufgebracht.

Folgerungen

Durch die Verstärkungsmaßnahme konnte die mangelhafte Tragsicherheit in Querrichtung wieder hergestellt werden. Das Bauwerk war für den Verkehr für eine begrenzte Dauer wieder freigegeben. Andere durch die Lageänderung der Verdrängungskörper verursachte Mängel,

wie z.B. die Beeinträchtigung der Querspannglieder, konnten durch diese Maßnahme nicht behoben werden.

Das Bauwerk wurde 2008 ersetzt.

Bilder und Bauwerksskizzen



Bild 1: Übersichtsfoto des Brückenbauwerks

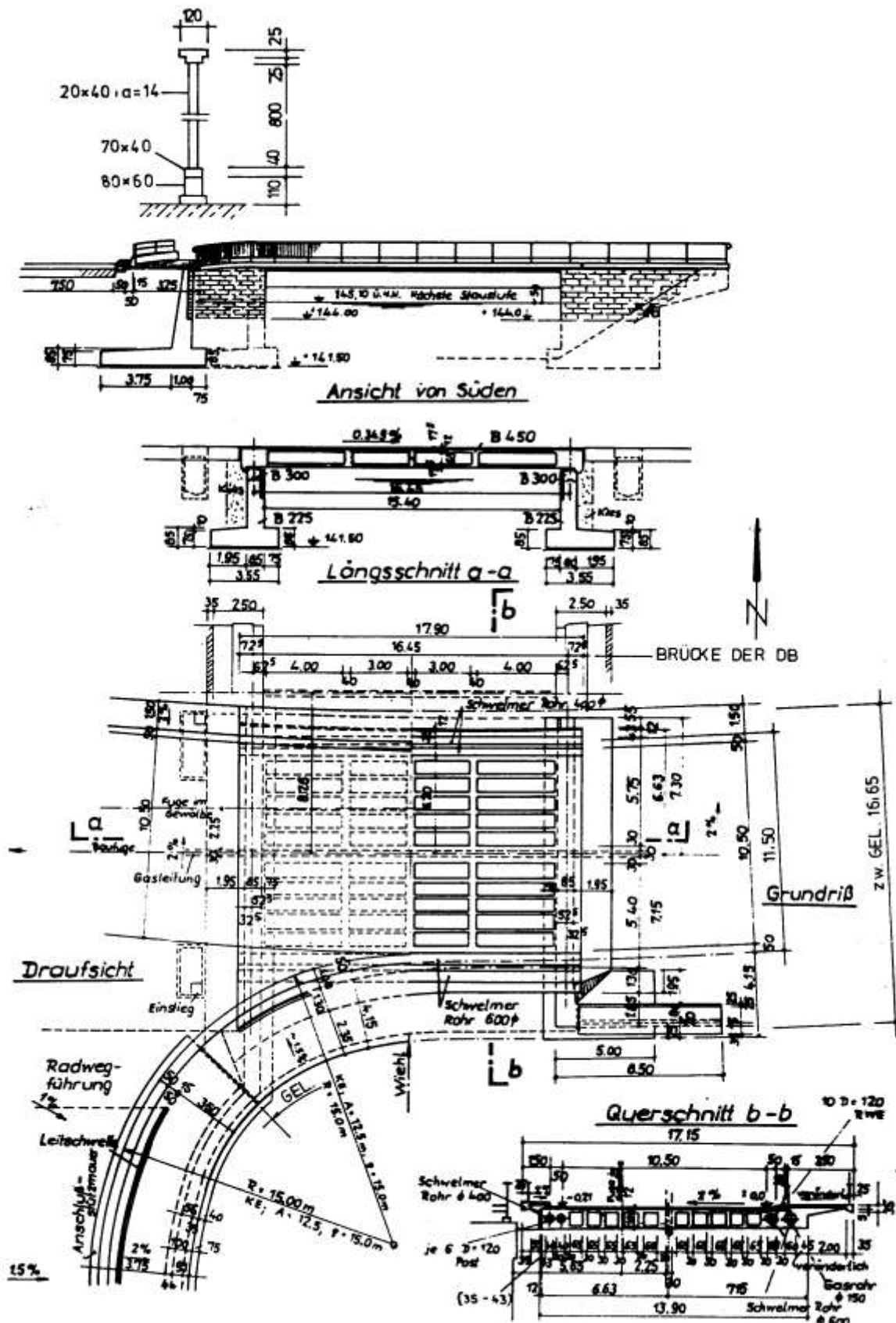


Bild 2: Bauwerksskizze

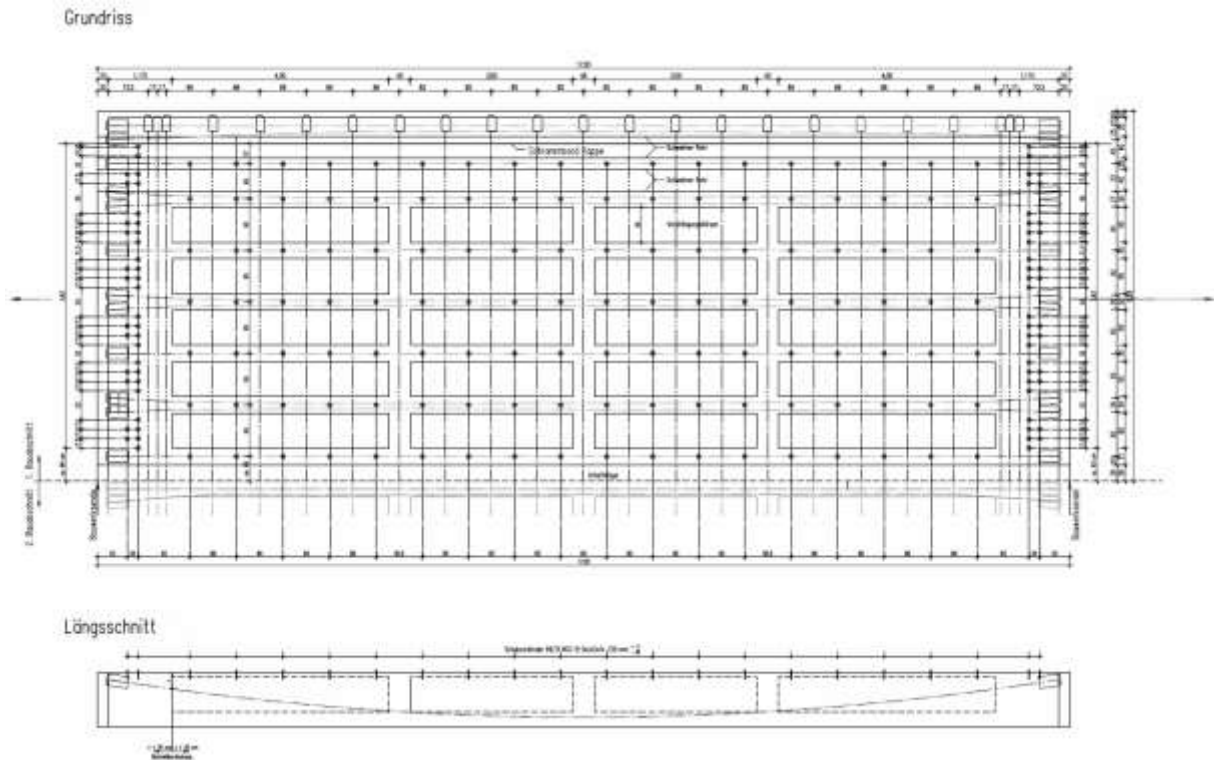


Bild 3: Setzplan der Schubverbinder



Bild 4: Bewehrung der Ortbetonbetonergänzung

Verstärkung 3.4: Querschnittsergänzung durch Aufbeton mit Verdübelung

Bauwerksdaten

1. Allgemeine Angaben

1.1 Einzel- und Gesamtstützweiten:	21,85 + 21,85 = 43,7	m
1.2 Zahl der Felder:	2	
1.3 Breite zwischen den Geländern:	17,5	m
1.4 Brückenfläche:	765	m ²
1.5 Bauwerkswinkel:	56,7	gon
1.6 Brückenklasse (vor der Verstärkung):	BK 60 (DIN 1072)	
1.7 Brückenklasse (nach der Verstärkung):	BK 60 (DIN 1072)	
1.8 Baujahr:	1960	
1.9 Baukosten insgesamt:	654.000 DM \approx 334.385	€
1.10 Baukosten bezogen auf Brückenfläche:	437	€/m ²

2. Angaben zur Konstruktion

2.1 Hauptbaustoff:	Stahlbeton
2.2 Bauwerkssystem in Längsrichtung:	Mehrfeldträger
2.3 Bauwerkssystem in Querrichtung:	Plattenartige Tragwerke
2.4 System der Lagerung:	Gelenkig
2.5 Pfeiler / Stützen:	Massive Pfeilerscheibe
2.6 Widerlager:	Kastenwiderlager
2.7 Gründung:	Flachgründung
2.8 Belag, Oberflächen- und Korrosionsschutz:	ca. 3,5 cm Gussasphalt-Deckschicht, ca. 6,5 cm Gussasphalt-Schutzschicht, Bitumenschweißbahn, Grundierung aus Epoxidharz, ca. 10 cm Schutzbeton (bewehrt), bituminöser Anstrich der Überbauoberseite

3. Baustoffe

3.1 Überbau:	B 300 (entspricht C20/25); Betonstahl St I ($f_{yk} = 220 \text{ N/mm}^2$) und St II ($f_{yk} = 340 \text{ N/mm}^2$);
3.2 Pfeiler / Stützen:	B 225 (entspricht C12/15); Betonstahl BSt 22/34 GU (IG) ($f_{yk} = 220 \text{ N/mm}^2$)
3.3 Widerlager:	B 225 (entspricht C12/15); Betonstahl BSt 22/34 GU (IG) ($f_{yk} = 220 \text{ N/mm}^2$)

4. Baugrund

Kalkstein mit Tonstein und
Mergelsteineinlagerungen

5. Besondere, für das Verstärkungserfordernis bedeutsame Bauwerks- und Bauteilmerkmale

Keine besonderen Merkmale.

Angaben zur Art der Verstärkung

- | | | |
|-----|--|---|
| 1. | Kurzbeschreibung: | Querschnittsergänzung durch Aufbeton mit Verdübelung |
| 2. | Grund und Ursache bzw. Ziel der Verstärkung: | Grundlegende Bauwerksinstandsetzung und Schadensbeseitigung |
| 3. | Verstärkte Bauteile: | Stahlbetonplatte |
| 4. | Verstärkungsanwendung: | Global |
| 5. | Kosten der Verstärkungsmaßnahme: | |
| | - insgesamt: | 526.667 € |
| | - bezogen auf die Brückenfläche: | 678 €/m ² |
| 6. | Zeitraum der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme: | 2009 (5 Monate) |
| 7.1 | Nutzungseinschränkung während der Verstärkungsmaßnahme: | Einspurige Verkehrsführung Bundesstraße mit LSA auf dem Bauwerk, 2s + 2s Verkehr BAB unter dem BW |
| 7.2 | Nutzungseinschränkung nach der Verstärkungsmaßnahme: | Keine |
| 8. | Voraussichtliche Nutzungsdauer: | Dauerhafte Verstärkung |

Ursachen für den Verstärkungsbedarf

Das gesamte Brückenbauwerk wies mehrere Mängel auf. So sind u.a. Hohlstellen, Betonabplatzungen und freiliegende, rostende Bewehrung am Überbau sowie an den Unterbauten und eine rechnerisch nicht ausreichende Standsicherheit eines Bauwerksflügels zu erwähnen. Zudem traten Verschiebungen zwischen der südlichen Überbaukappe und der Kappe des südöstlichen Flügels auf.

Desweiteren wurden eine schadhafte Instandsetzung und erhöhte Chloridgehalte am Mittelpfeiler im Bereich der Spritzwasserzone bei der Bauwerksprüfung festgestellt. Auch die passiven Schutzeinrichtungen mussten an die aktuellen Normen und Richtlinien (RPS 2009) angepasst werden.

Beschreibung der Verstärkung

Im Zuge der Gesamtinstandsetzung wurde der bestehende Belagsaufbau bis zum Konstruktionsbeton entfernt. Die Plattenoberseite wurde anschließend aufgeraut und ein Aufbeton der Festigkeitsklasse C30/37 mit einer Dicke von $h = 14$ cm aufgebracht und mittels abgewinkelter Biegeformen aus BSt 500S schubfest verankert.

Der Kragarm am südlichen Überbaurand wurde ebenfalls neu hergestellt (Bilder 3 bis 6). Im Fahrbahnbereich wurde ein neuer Belag, bestehend aus einer Versiegelung aus Epoxidharz, Bitumenschweißbahn, 3,5 cm Gussasphalt-Schutzschicht und 4 cm Splittmastix-Asphalt, eingebaut.

Folgerungen

-

Bilder und Bauwerksskizzen



Bild 1: Übersichtsfoto des Brückenbauwerks

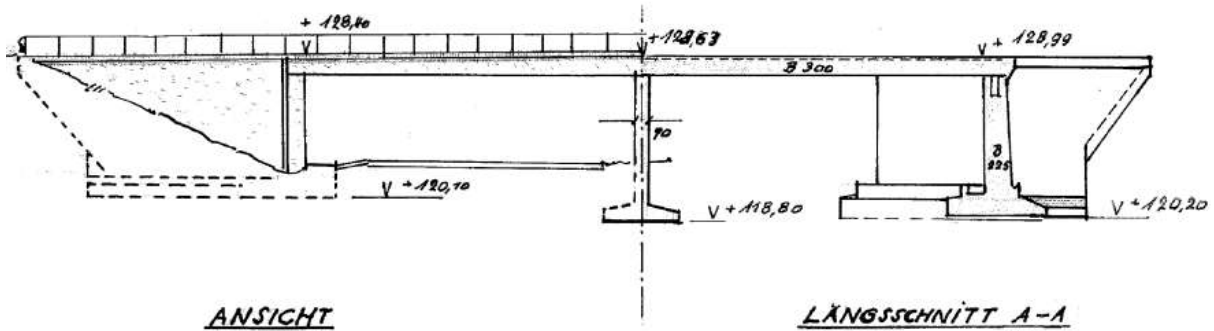


Bild 2: Längsschnitt / Ansicht

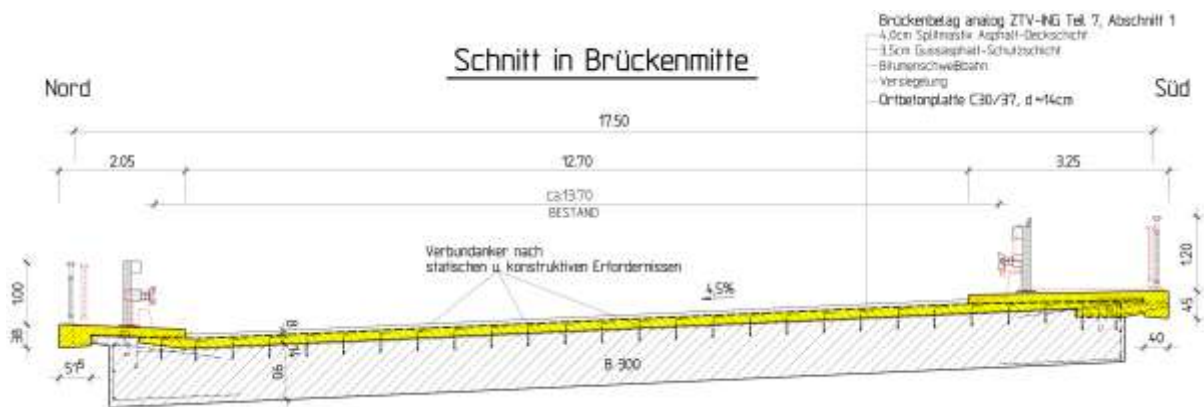


Bild 3: Regelquerschnitt



Bild 4: Bewehrung der Ortbetoneergänzung



Bild 5: Bewehrung der Ortbetonergänzung



Bild 6: Verdübelung zwischen Konstruktionsbeton und Ortbetonergänzung

Verstärkung 4.1: Verstärkung einer Koppelfuge durch Zusatzbewehrung in Nuten im Zuge einer Gesamtinstandsetzung

Bauwerksdaten

1. Allgemeine Angaben

1.1 Einzel- und Gesamtstützweiten:	51,50 + 39,33 + 39,34 + 39,33 = 169,5	m
1.2 Zahl der Felder:	4 (nur Teilbauwerk A)	
1.3 Breite zwischen den Geländern:	15,5	m
1.4 Brückenfläche:	2.627	m ²
1.5 Bauwerkswinkel:	100	gon
1.6 Brückenklasse (vor der Verstärkung):	BK 60 (DIN 1072)	
1.7 Brückenklasse (nach der Verstärkung):	BK 60/30 (DIN 1072)	
1.8 Baujahr:	1973	
1.9 Baukosten insgesamt:	1.450.000 (nur Teilbauwerk A)	€
1.10 Baukosten bezogen auf Brückenfläche:	552	€/m ²

2. Angaben zur Konstruktion

2.1 Hauptbaustoff:	Spannbeton
2.2 Bauwerkssystem in Längsrichtung:	Mehrfeldträger mit Durchlaufwirkung; interne Vorspannung
2.3 Bauwerkssystem in Querrichtung:	Mehrzelliger Hohlkasten mit Querverteilung
2.4 System der Lagerung:	TBW A: Festpunktlagerung am anschließenden TBW; Widerlager: Verformungsgleitlager, bewehrt, ohne Festhaltevorrichtung, allseits verformbar; Pfeiler/Stützen: Rollenlager querfest oder allseits beweglich
2.5 Pfeiler / Stützen:	Scheibenförmige Hohl Pfeiler
2.6 Widerlager:	Kastenwiderlager
2.7 Gründung:	Flachgründung unter Widerlagern und Flügelwänden, Bohrpfähle unter Pfeilern
2.8 Belag, Oberflächen- und Korrosionsschutz:	Splittmastixasphalt

3. Baustoffe

3.1 Überbau:	B 450 (entspricht C30/37); Betonstahl St III b ($f_{yk} = 400 \text{ N/mm}^2$); Spannstahl Leoba AK ($f_{p0,2k} = 1420 \text{ N/mm}^2$, $f_{pk} = 1570 \text{ N/mm}^2$)
3.2 Pfeiler / Stützen:	Stahlbeton, B300 (entspricht C20/25) und B 450 (entspricht C30/37) für Auflagerbank

3.3 Widerlager: B 300 (entspricht C20/25); Betonstahl St I ($f_{yk} = 220 \text{ N/mm}^2$) und St III b ($f_{yk} = 400 \text{ N/mm}^2$)

4. Baugrund Tonstein mit Muschelkalkzwischenlagern

5. Besondere, für das Verstärkungserfordernis bedeutsame Bauwerks- und Bauteilmerkmale

Für die Einstufung des Bauwerks (Bild 1) in eine Brückenklasse erwies sich der Zustand der Koppelfugen als maßgebend. 14 von 15 Koppelfugen des aus den Teilen A bis E bestehenden Gesamtbauwerks (Bild 2) entsprachen ohne Verstärkung der BK 60/30, nur die Koppelfuge Nr. 12, die sich im Bereich des Teilbauwerks A befindet, nicht (Bilder 3 und 4).

Angaben zur Art der Verstärkung

- | | |
|--|---|
| 1. Kurzbeschreibung: | Zusatzbewehrung in Nuten zur Verstärkung einer Koppelfuge, Erhöhung der Brückenklasse |
| 2. Grund und Ursache bzw. Ziel der Verstärkung: | Herabsetzung der Stahlspannungsänderungen, Traglasterrhöhung von BK 60 auf BK 60/30 |
| 3. Verstärkte Bauteile: | Koppelfuge Nr. 12 |
| 4. Verstärkungsanwendung: | Lokal |
| 5. Kosten der Verstärkungsmaßnahme: | |
| - insgesamt: | 25.000 € |
| - bezogen auf die Brückenfläche: | 10 €/m ² |
| 6. Zeitraum der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme: | 2001 (2 Monate) |
| 7.1 Nutzungseinschränkung während der Verstärkungsmaßnahme: | Keine |
| 7.2 Nutzungseinschränkung nach der Verstärkungsmaßnahme: | Keine |
| 8. Voraussichtliche Nutzungsdauer: | Dauerhafte Verstärkung |

Ursachen für den Verstärkungsbedarf

Das Brückenbauwerk wies Defizite an einer der insgesamt 15 Koppelfugen auf. Durch die Verstärkung wurde eine Verbesserung der

Schwingbreite der Spannstahtspannungen sowie die Einstufung in eine höhere Brückenklasse angestrebt.

Beschreibung der Verstärkung

Im Inneren des 2-zelligen Kastenträgers wurde schlaffe Zusatzbewehrung in Schlitze (koppelfugenübergreifend) eingebaut. Es wurden 17 bzw. 24 cm breite und 11 cm tiefe Nuten mittels

HDW hergestellt, in denen Stabbündel mit je 3 Ø 20 verlegt wurden. Der Nachweis der Zusatzbewehrung erfolgte nach DIN 1045.

Folgerungen

Durch die Verstärkung der defizitären Koppelfuge konnte die Brückenklasse für das

gesamte Bauwerk von BK 60 auf BK 60/30 erhöht werden.

Bilder und Bauwerksskizzen



Bild 1: Übersichtsfoto des Bauwerks

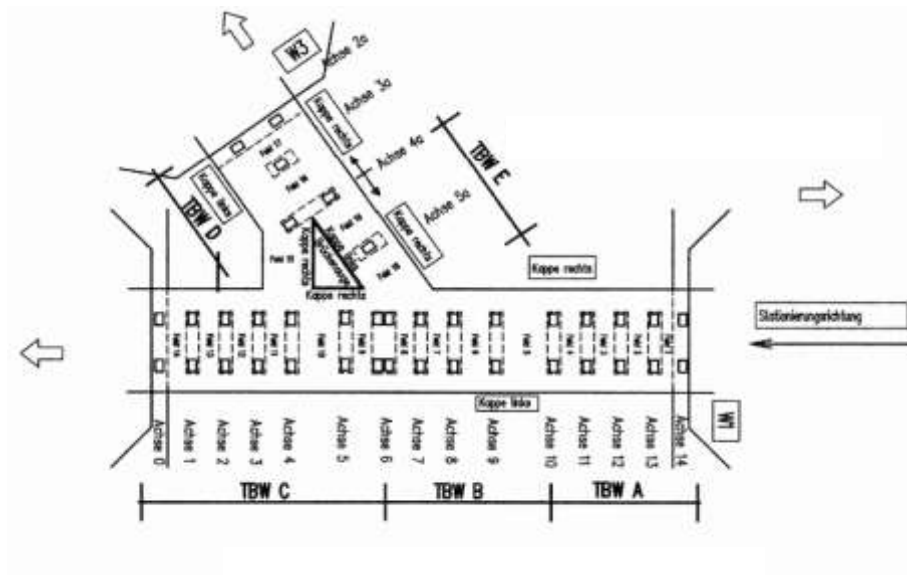


Bild 2: Bauwerksskizze (Draufsicht)

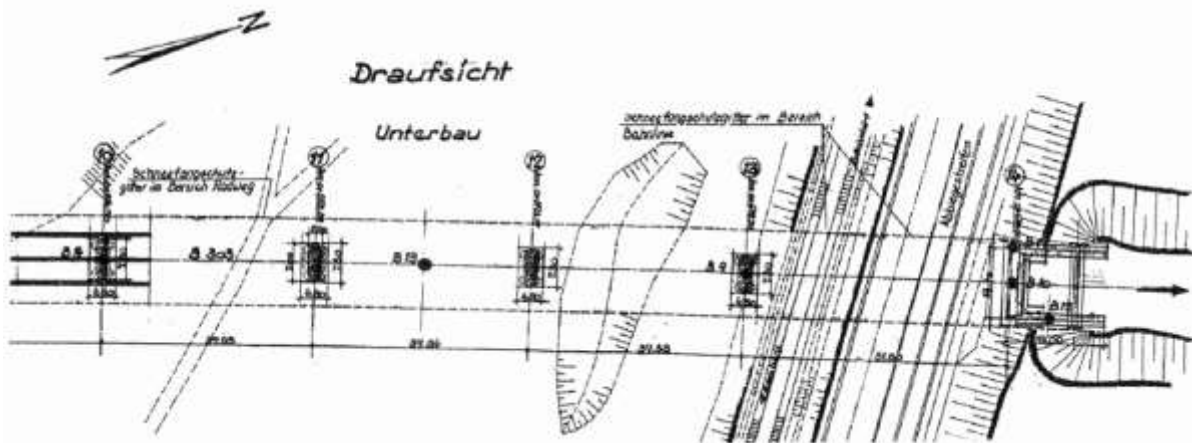


Bild 3: Draufsicht Teilbauwerk A

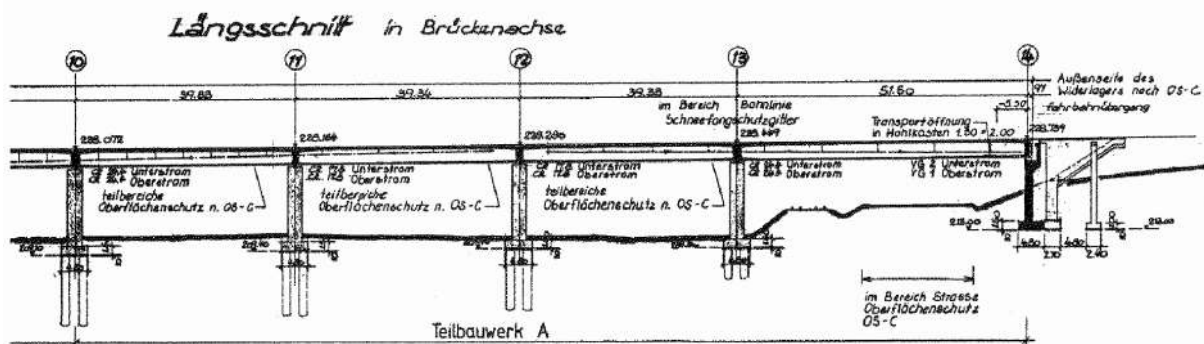


Bild 4: Längsschnitt Teilbauwerk A

Schnitt 2-2

Ertüchtigung des Querschnitts

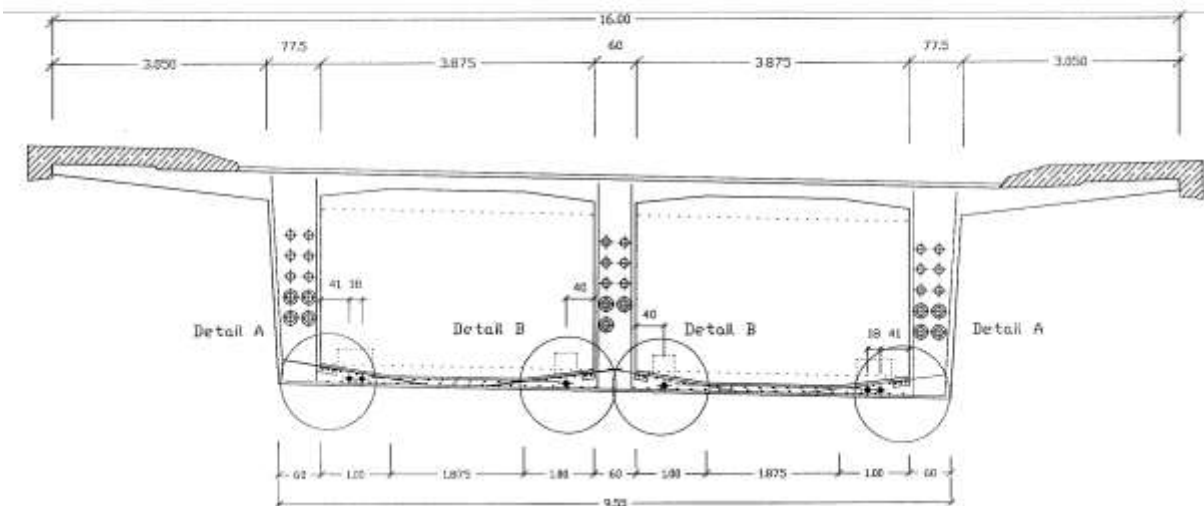


Bild 5: Zusätzlich eingelegte Bewehrung

Detail A

Betonstahlzulagen

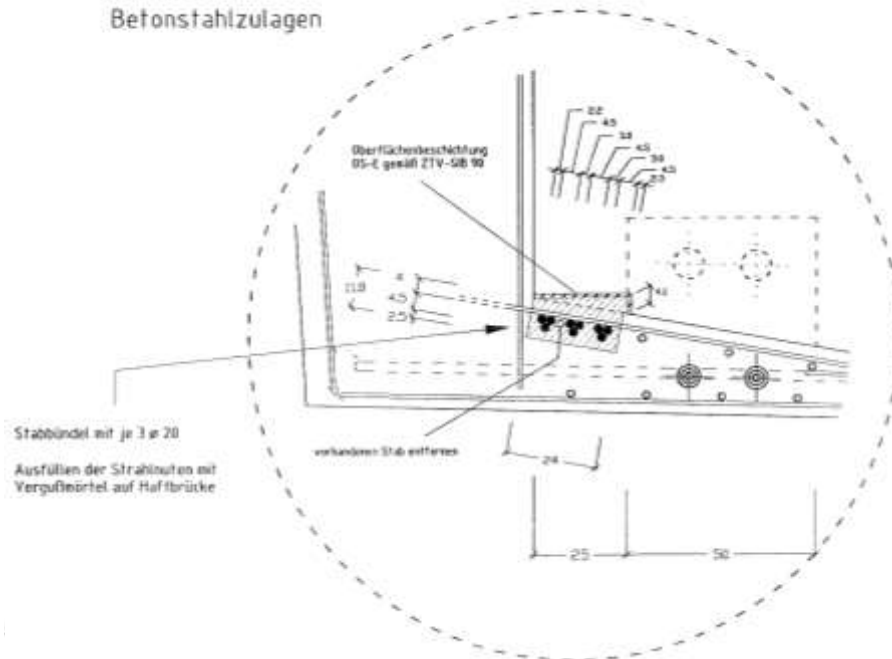


Bild 6: Zusätzlich eingelegte Bewehrung

Detail B

Betonstahlzulagen

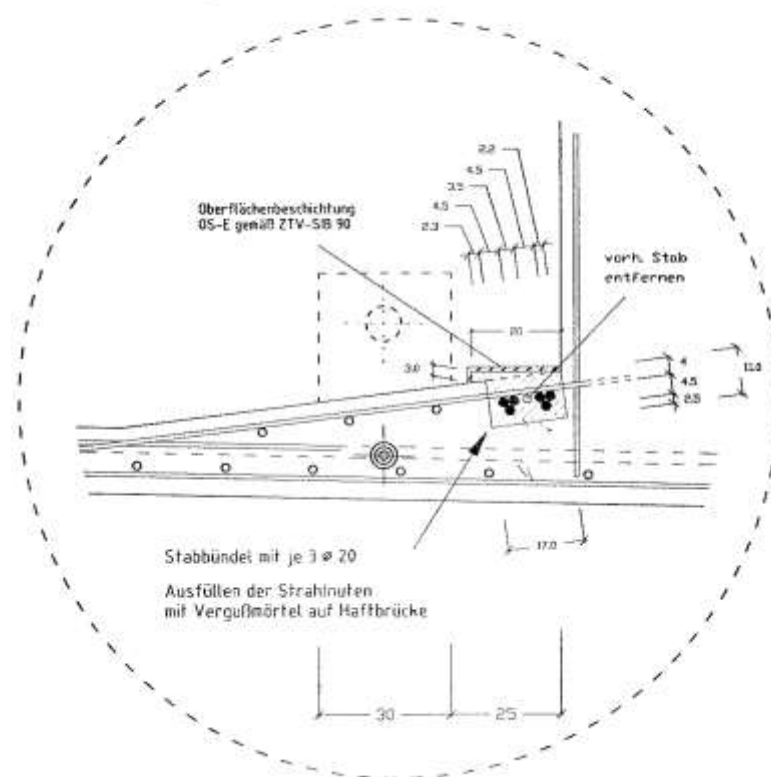


Bild 7: Zusätzlich eingelegte Bewehrung

Verstärkungstechnik:	4. Zusatzbewehrung in Nuten	Lfd. Nr.:	4.2	Blatt:	1
Verstärkung 4.2:		Verbreiterung der Fahrbahn unter Einsatz von Zusatzbewehrung in Nuten in den Endfeldern			
Bauwerksdaten					
1. Allgemeine Angaben					
1.1	Einzel- und Gesamtstützweiten:	$5,06 + 54 \times 6,41 + 13 \times 5,1 = 417,5$		m	
1.2	Zahl der Felder:	68			
1.3	Breite zwischen den Geländern:	ca. 17		m	
1.4	Brückenfläche:	7.118		m ²	
1.5	Bauwerkswinkel:	100		gon	
1.6	Brückenklasse (vor der Verstärkung):	BK 60 (DIN 1072)			
1.7	Brückenklasse (nach der Verstärkung):	BK 60 (DIN 1072)			
1.8	Baujahr:	1974			
1.9	Baukosten insgesamt:	3.500.000		€	
1.10	Baukosten bezogen auf Brückenfläche:	492		€/m ²	
2. Angaben zur Konstruktion					
2.1	Hauptbaustoff:	Stahlbeton			
2.2	Bauwerkssystem in Längsrichtung:	Fertigteilträger mit Ortbetonergänzung, Durchlaufwirkung			
2.3	Bauwerkssystem in Querrichtung:	Quervorgespannte Platte; Auflagerträger biegesteif			
2.4	System der Lagerung:	Elastomerlager für Fertigteilträger, Auflagerträger biegesteif eingespannt			
2.5	Pfeiler / Stützen:	Stahlrohrstützen			
2.6	Widerlager:	Auflagerträger mit Stahlrohrstützen als Pfahlbock			
2.7	Gründung:	Tiefgründung			
2.8	Belag, Oberflächen- und Korrosionsschutz:	Mastixabdichtung; Gussasphalt – Schutzschicht, Gussasphalt – Deckschicht			
3. Baustoffe					
3.1	Überbau:	Stahlbeton B 450 (entspricht C30/37); Betonstahl BSt 42/50 RK (IIIK) ($f_{yk} = 420 \text{ N/mm}^2$)			
3.2	Pfeiler / Stützen:	Stahlbeton; Stahlrohrstützen S 235, \varnothing 406 mm			
3.3	Widerlager:	Stahlbeton; Stahlrohrstützen als Pfahlbock			
4. Baugrund					
-					
Bund/Länder Dienstbesprechung Brücken- und Ingenieurbau			Erfahrungssammlung „Verstärkung von Betonbrücken“		155

5. Besondere, für das Verstärkungserfordernis bedeutsame Bauwerks- und Bauteilmerkmale

Keine besonderen Merkmale.

Angaben zur Art der Verstärkung

- | | |
|--|--|
| 1. Kurzbeschreibung: | Verstärkung der Auflagerquerträger durch zusätzlich eingelegte schlaaffe Bewehrung |
| 2. Grund und Ursache bzw. Ziel der Verstärkung: | Verbreiterung des bestehenden Bauwerkes. Hierfür musste der Querträger wegen Spannungsüberschreitungen verstärkt werden. |
| 3. Verstärkte Bauteile: | Auflagerquerträger |
| 4. Verstärkungsanwendung: | Lokal |
| 5. Kosten der Verstärkungsmaßnahme: | |
| - insgesamt: | 3.500.000 € (inkl. Verbreiterung) |
| - bezogen auf die Brückenfläche: | 492 €/m ² |
| 6. Zeitraum der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme: | 2000 (6 Monate) |
| 7.1 Nutzungseinschränkung während der Verstärkungsmaßnahme: | Verlegung der Fahrspuren in Nachbarfelder der Auflagerträger |
| 7.2 Nutzungseinschränkung nach der Verstärkungsmaßnahme: | keine |
| 8. Voraussichtliche Nutzungsdauer: | Dauerhafte Verstärkung |

Ursachen für den Verstärkungsbedarf

Durch eine Nachrechnung sollte überprüft werden, ob die vorhandene Bewehrung für die Verbreiterung des Bauwerkes ausreichend ist. Bei detaillierter Berechnung des Brückenüberbaus

traten im Abstand von ca. einem Zehntel bis einem Fünftel der Stützweite von der Randstütze entfernt rechnerische Spannungsüberschreitungen auf.

Beschreibung der Verstärkung

Zu Beginn wurden Schlitze mittels Hochdruckwasserstrahlen hergestellt. Im Anschluss wurde zusätzliche schlaaffe Bewehrung zwischen die vorhandene Verbügelung eingefädelt (je Nut 2Ø28, l = 9,15 m und 9,65 m) und die Schlitze mit Spritzbeton verschlossen sowie geglättet. Die Bemessung der Zusatzbewehrung erfolgte

nach DIN 1045. Die Verstärkung musste über das Auflager hinaus geführt werden. Dies war mit der zu Planungsbeginn überlegten Verstärkungstechnik (aufgeklebte Laschen) nicht möglich. Zudem konnte die Autobahn nicht voll gesperrt werden.

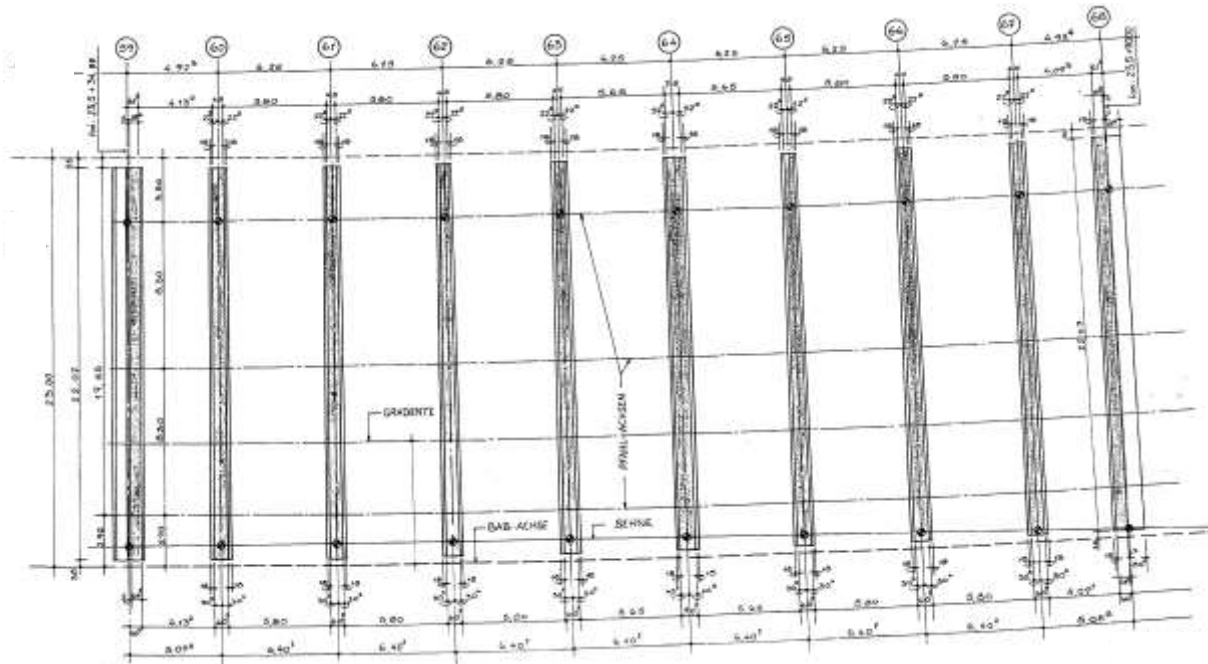


Bild 3: Grundriss

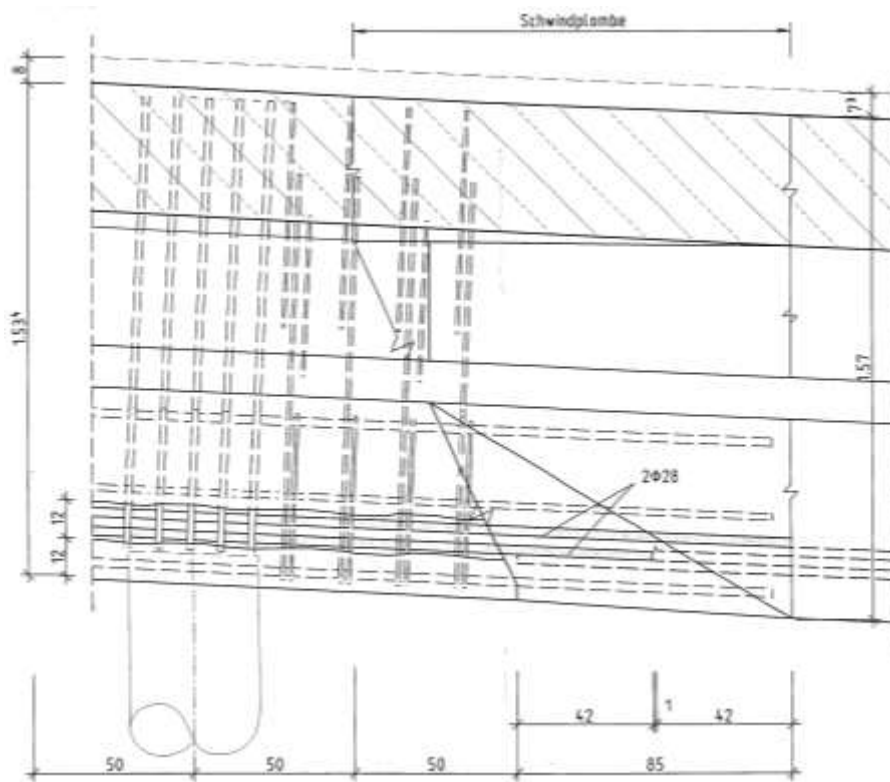


Bild 4: Draufsicht Verstärkung

Verstärkung 4.3: Zusatzbewehrung in Nuten zur Verstärkung der Koppelfuge

Bauwerksdaten

1. Allgemeine Angaben

1.1 Einzel- und Gesamtstützweiten:	27,55 – 21,20 – 21,21 – 21,20 – 21,21 – 21,20 – 27,55 = 161,12	m
1.2 Zahl der Felder:	7	
1.3 Breite zwischen den Geländern:	23,23	m
1.4 Brückenfläche:	3.743	m ²
1.5 Bauwerkswinkel:	100	gon
1.6 Brückenklasse (vor der Verstärkung):	BK 60 (DIN 1072)	
1.7 Brückenklasse (nach der Verstärkung):	BK 60 (DIN 1072)	
1.8 Baujahr:	1975	
1.9 Baukosten insgesamt:	4.797.331 DM \triangleq 2.452.836	€
1.10 Baukosten bezogen auf Brückenfläche:	655	€/m ²

2. Angaben zur Konstruktion

2.1 Hauptbaustoff:	Spannbeton
2.2 Bauwerkssystem in Längsrichtung:	Mehrfeldträger mit Durchlaufwirkung; interne beschränkte Vorspannung
2.3 Bauwerkssystem in Querrichtung:	Plattenbalken mit Quervorspannung
2.4 System der Lagerung:	Neotopflager
2.5 Pfeiler / Stützen:	Hohlpfeiler
2.6 Widerlager:	Kastenwiderlager
2.7 Gründung:	Flachgründung, Bohrpfähle
2.8 Belag, Oberflächen- und Korrosionsschutz:	Schweißbahn, Gussasphaltschutzschicht und – deckschicht, kein OS-System

3. Baustoffe

3.1 Überbau:	B 450 (entspricht C30/37); Betonstahl BSt 42/50 RK (III K) ($f_{yk} = 420 \text{ N/mm}^2$); Spannstahl Leoba AK ($f_{p0,2k} = 1420 \text{ N/mm}^2$, $f_{pk} = 1570 \text{ N/mm}^2$)
3.2 Pfeiler / Stützen:	B 450 (entspricht C30/37); Betonstahl BSt 42/50 RK (IIIK) ($f_{yk} = 420 \text{ N/mm}^2$)
3.3 Widerlager:	B 300 (entspricht C20/25); Betonstahl BSt 42/50 RK (IIIK) ($f_{yk} = 420 \text{ N/mm}^2$)

4. Baugrund

Fels (Schluff- und Sandsteine)

5. Besondere, für das Verstärkungserfordernis bedeutsame Bauwerks- und Bauteilmerkmale

Keine besonderen Merkmale.

Angaben zur Art der Verstärkung

- | | | |
|-----|--|---|
| 1. | Kurzbeschreibung: | Verstärkung der Koppelfuge durch Zusatzbewehrung in Nuten |
| 2. | Grund und Ursache bzw. Ziel der Verstärkung: | Risse im Bereich der Koppelfuge, Dauerfestigkeitsproblem einer Koppelfuge |
| 3. | Verstärkte Bauteile: | Überbau |
| 4. | Verstärkungsanwendung: | Lokal |
| 5. | Kosten der Verstärkungsmaßnahme: | |
| | - insgesamt: | 116.743 € |
| | - bezogen auf die Brückenfläche: | 31 €/m ² |
| 6. | Zeitraum der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme: | 2001 (5,5 Monate) |
| 7.1 | Nutzungseinschränkung während der Verstärkungsmaßnahme: | keine |
| 7.2 | Nutzungseinschränkung nach der Verstärkungsmaßnahme: | keine |
| 8. | Voraussichtliche Nutzungsdauer: | Dauerhafte Verstärkung |

Ursachen für den Verstärkungsbedarf

Die Koppelfugenuntersuchung ergab Dauerfestigkeitsprobleme in einer Koppelfuge.

Beschreibung der Verstärkung

Aus wirtschaftlichen und technischen Gründen wurde von einer zusätzlichen externen Vorspannung abgesehen, da nur eine Koppelfuge verstärkt werden musste. Es wurden insgesamt 12 Nuten mit einer Gesamtlänge von ca. 150 m mit Nutenabmessungen von ca. $b/t = 7/10$ cm mittels Hochdruckwasserstrahlen (HDW) mit mechanischer Führung und automatischem Vortrieb hergestellt. Insgesamt wurden 0,7 t Betonstahlbewehrung BSt 500S

($12 \times \emptyset 28$, $l = 12$ m je Stab) eingebaut. Dies entspricht einer Zusatzbewehrung $\Delta A_{sl} = 37$ cm² je Steg des Überbaus. Die Bemessung erfolgte nach DIN 1045-1.

Im Anschluss wurden die Nuten mit SPCC-Mörtel verschlossen.

Alle sechs Koppelfugen des Bauwerks wurden nachträglich mit einem Fugenband (Mycoflex BI-Band; MC Bauchemie) geschlossen.

Folgerungen

Bei Defiziten an nur einer Koppelfuge ist eine Verstärkung durch Einlegen schlaffer

Bewehrung in Nuten aus wirtschaftlichen und technischen Gründen sinnvoll.

Bilder und Bauwerksskizzen



Bild 1: Übersichtsfoto des Brückenbauwerks

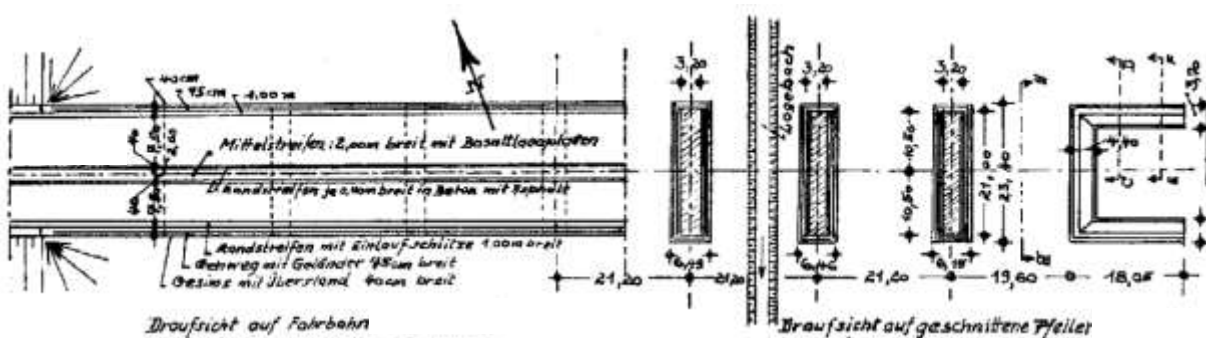


Bild 2: Draufsicht

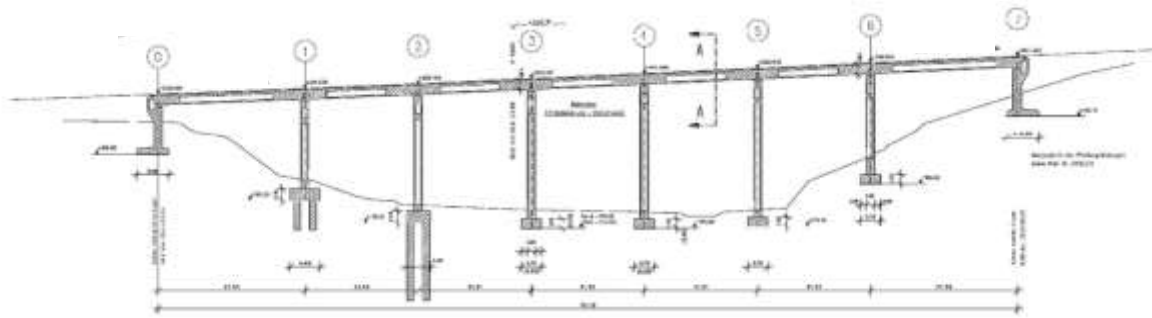


Bild 3: Längsschnitt

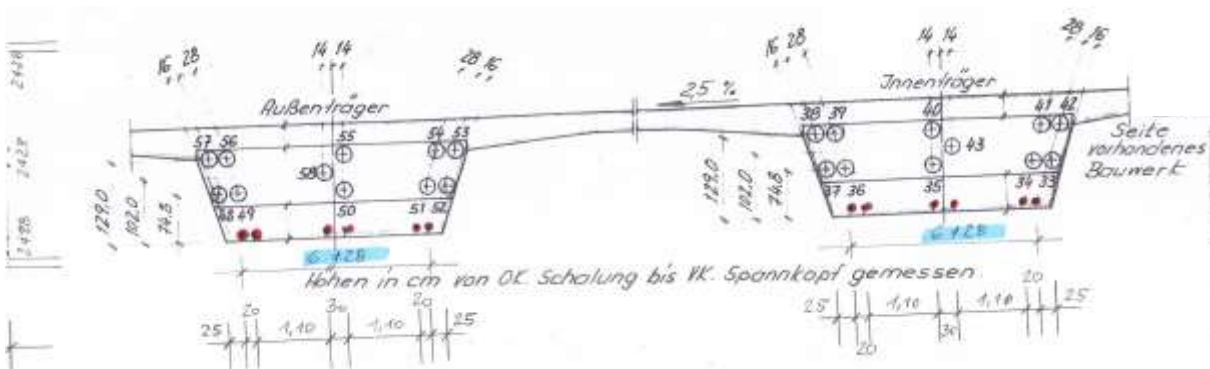


Bild 4: Ansicht Koppelstelle mit dargestellter Zusatzbewehrung

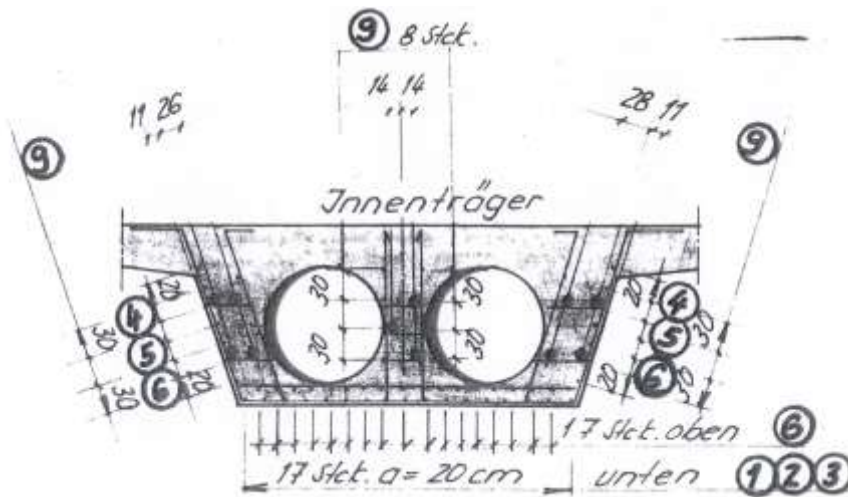


Bild 5: Regelquerschnitt in Punkt 14

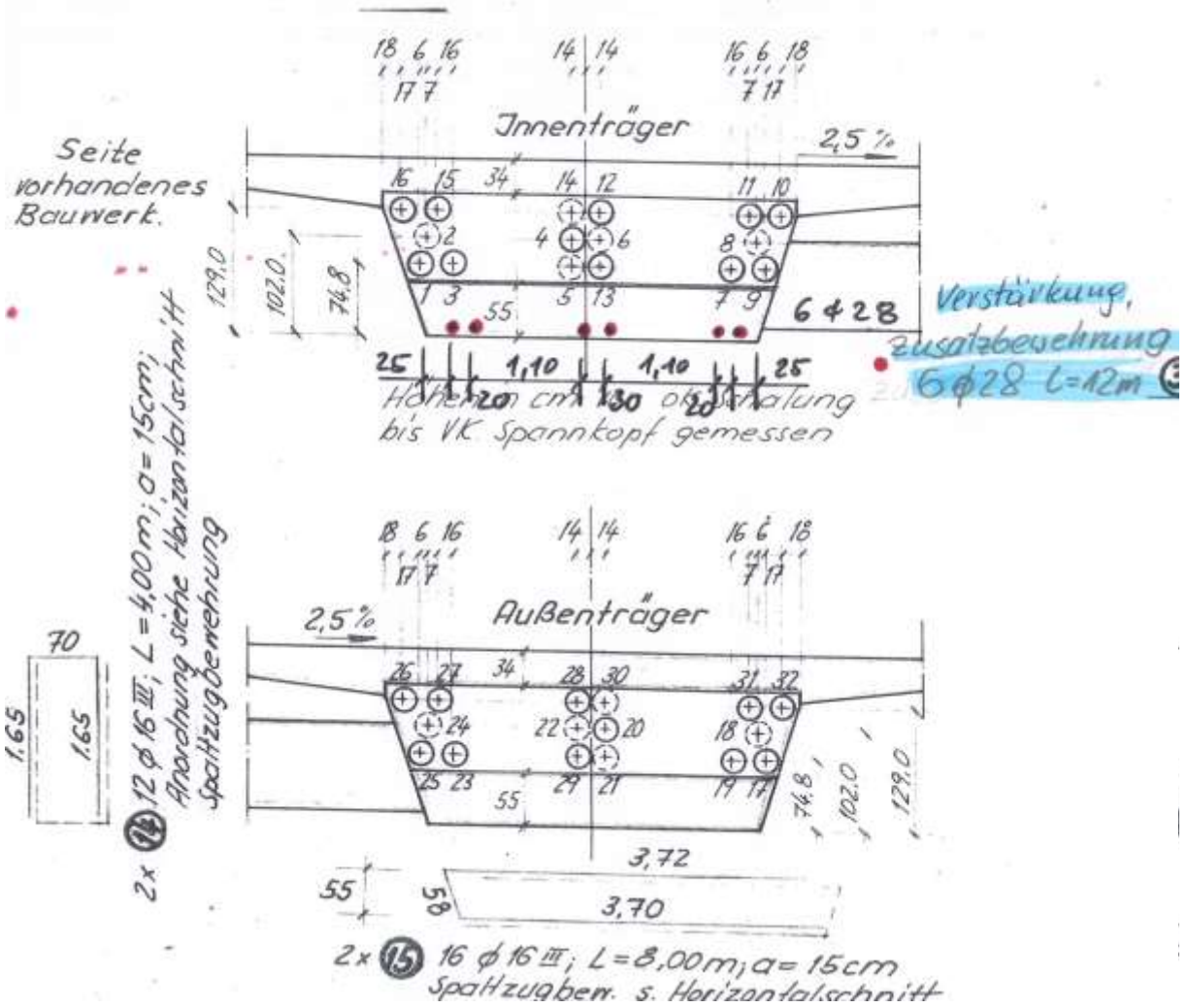


Bild 6: Detailansicht der Koppelstelle mit dargestellter Zusatzbewehrung

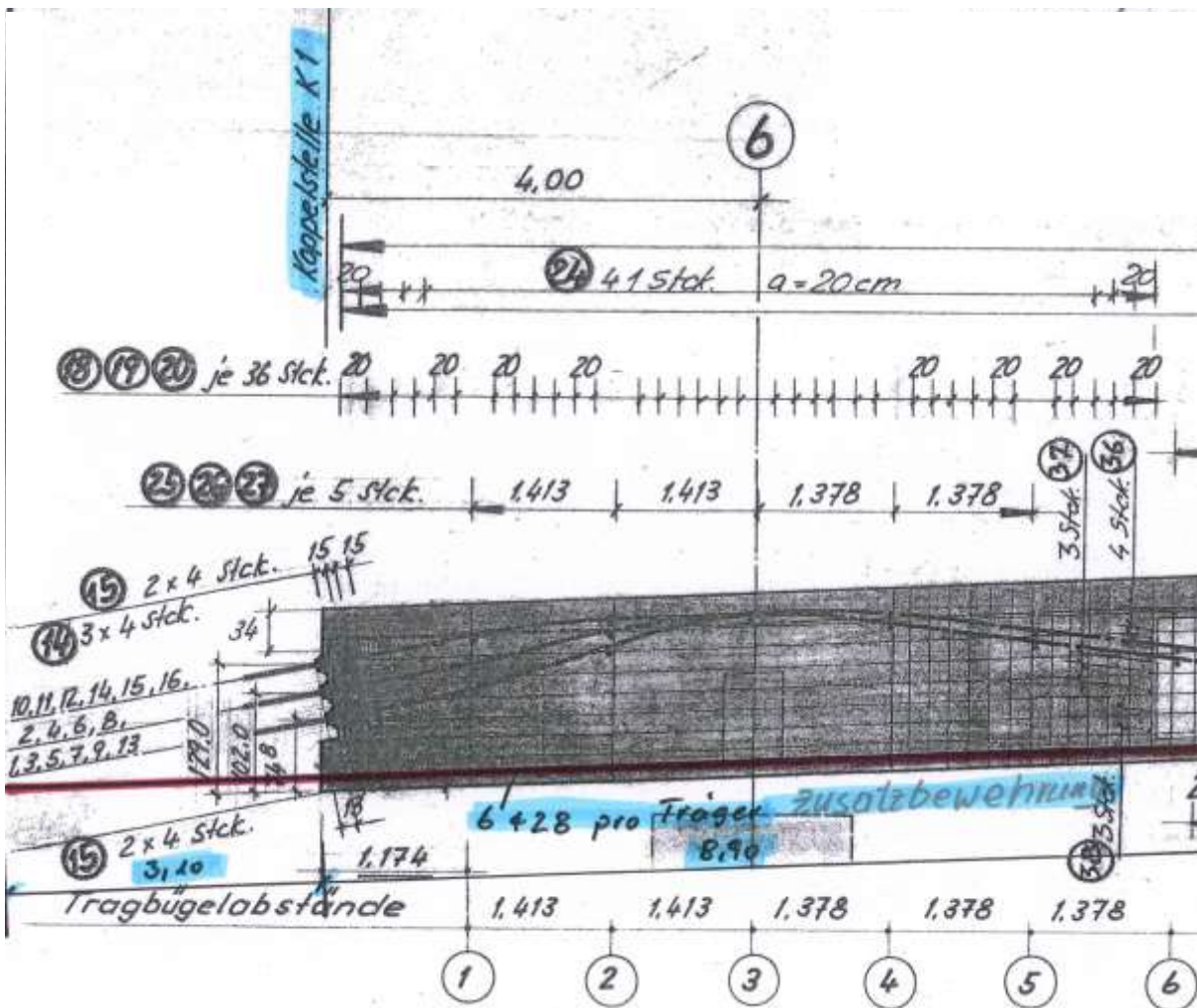


Bild 7: Längsschnitt der Koppelstelle mit Zusatzbewehrung

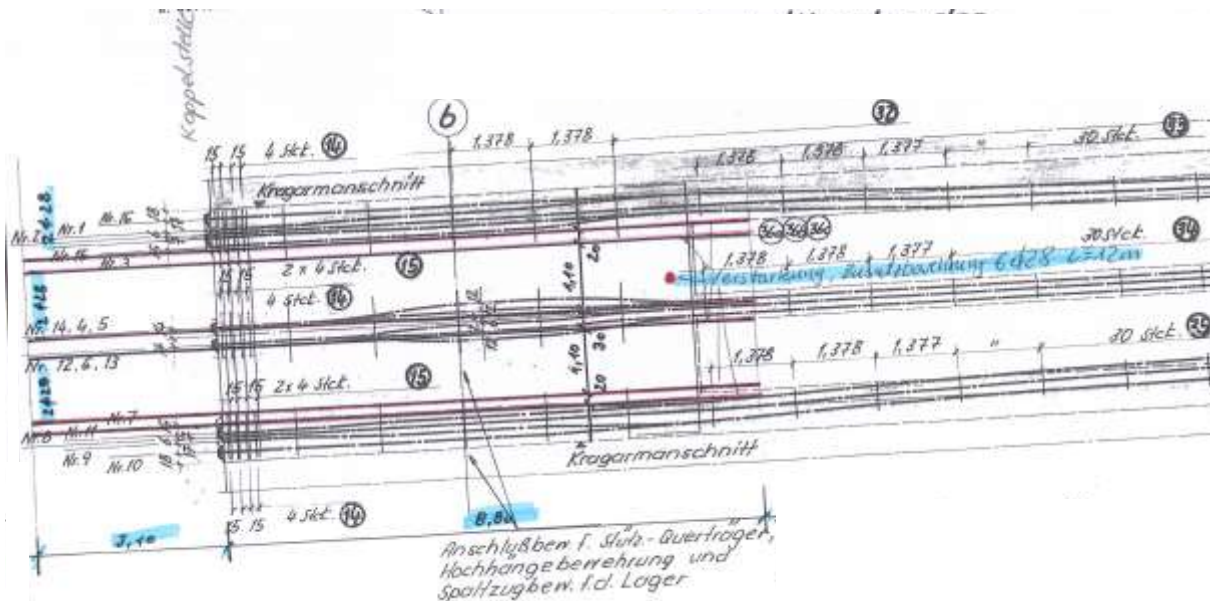


Bild 8: Horizontalschnitt unter der Fahrbahnplatte mit Zusatzbewehrung

Verstärkungstechnik:	5. Aufgeklebte CFK-Lamellen	Lfd. Nr.:	5.1	Blatt:	1
Verstärkung 5.1:		Traglasterrhöhung in Querrichtung mittels aufgeklebten CFK-Lamellen			
Bauwerksdaten					
1. Allgemeine Angaben					
1.1	Einzel- und Gesamtstützweiten:	19,95		m	
1.2	Zahl der Felder:	1			
1.3	Breite zwischen den Geländern:	12,5		m	
1.4	Brückenfläche:	249		m ²	
1.5	Bauwerkswinkel:	90		gon	
1.6	Brückenklasse (vor der Verstärkung):	BK 30 (DIN 1072)			
1.7	Brückenklasse (nach der Verstärkung):	BK 30 (DIN 1072) und 44 t – Fahrzeugkombination (53. Ausnahme- Verordnung der StVO)			
1.8	Baujahr:	1978			
1.9	Baukosten insgesamt:	703.000 DM \approx 359.438		€	
1.10	Baukosten bezogen auf Brückenfläche:	1.444		€/m ²	
2. Angaben zur Konstruktion					
2.1	Hauptbaustoff:	Spannbeton			
2.2	Bauwerkssystem in Längsrichtung:	gekrümmter Einfeldträger			
2.3	Bauwerkssystem in Querrichtung:	Spannbetonplatte			
2.4	System der Lagerung:	Schwimmende Lagerung			
2.5	Pfeiler / Stützen:	-			
2.6	Widerlager:	Kastenwiderlager			
2.7	Gründung:	Bohrpfahlgründung			
2.8	Belag, Oberflächen- und Korrosionsschutz:	Asphaltbeton			
3. Baustoffe					
3.1	Überbau:	B 350 (entspricht C25/30); Betonstahl BSt 42/50 RK (IIIK) ($f_{yk} = 420 \text{ N/mm}^2$); Spannstahl Suspa V DU 7 mm ($f_{p0,2k} = 1320 \text{ N/mm}^2$, $f_{pk} = 1470 \text{ N/mm}^2$)			
3.2	Pfeiler / Stützen:	-			
3.3	Widerlager:	Stahlbeton, Bn 250 (entspricht C20/25)			
4.	Baugrund	Tonstein			
5. Besondere, für das Verstärkungserfordernis bedeutsame Bauwerks- und Bauteilmerkmale					
Keine besonderen Merkmale.					
Bund/Länder Dienstbesprechung Brücken- und Ingenieurbau			Erfahrungssammlung „Verstärkung von Betonbrücken“		165

Angaben zur Art der Verstärkung

1.	Kurzbeschreibung:	Verstärkung des Überbauquerschnittes in Querrichtung mittels aufgeklebter CFK-Lamellen
2.	Grund und Ursache bzw. Ziel der Verstärkung:	Traglasterhöhung von BK 30 auf eine 44 t - Fahrzeugkombination (53. Ausnahme-Verordnung der StVO)
3.	Verstärkte Bauteile:	Unterseite der Überbauplatte
4.	Verstärkungsanwendung:	Lokal
5.	Kosten der Verstärkungsmaßnahme:	
	- insgesamt:	33.862 €
	- bezogen auf die Brückenfläche:	137 €/m ²
6.	Zeitraum der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme:	2006 (1 Monat)
7.1	Nutzungseinschränkung während der Verstärkungsmaßnahme:	Bereits vor der Verstärkung Fahrbahneinengung zwecks Verhinderung von Begegnungsverkehr auf der Brücke
7.2	Nutzungseinschränkung nach der Verstärkungsmaßnahme:	Keine, Fahrbahneinengung aufgehoben
8.	Voraussichtliche Nutzungsdauer:	Dauerhaft

Ursachen für den Verstärkungsbedarf

Seit dem Jahre 1998 ist der 44 t-Fahrzeugverkehr genehmigungsfrei. Der Brückenneubau aus dem Jahre 1978 war lediglich in die Brückenklasse 30 eingestuft worden. Die Brücke musste daher vor der Verstärkung vor Überlastung geschützt werden. Hierfür wurde die Fahrbahn verengt. Für den

genehmigungsfreien 44 t-Fahrzeugverkehr wurde die Brücke dann verstärkt.

Als Verstärkungstechnik wurde das Aufkleben von CFK-Lamellen gewählt, da diese eine flexible Lösung ohne Einschränkung des Lichtraumprofils darstellt.

Beschreibung der Verstärkung

Zu Beginn wurde die Oberfläche der Überbauunterseite sandgestrahlt, bis das Korngerüst > 8 mm sichtbar war, und im Anschluss, soweit notwendig, mit Sikadur 41 (3-Komponenten-Epoxydharzmörtel) egalisiert. Die ausreichende Haftzugfestigkeit des Bestandsüberbaus wurde vor Auftrag des Klebers überprüft (Bild 6).

Im Anschluss wurden die CFK-Lamellen (50 mm breit, 1,2 mm dick, Zulassung Z-36.12-29) mit

einem Klebstoff auf Epoxidharzbasis (Sikadur 30) auf die Bauteiloberfläche appliziert (Bilder 7 und 8). Abschließend wurde eine Haftbrücke (Sikafloor 156, Epoxidharzbindemittel) aufgetragen und mit Quarzsand eingestreut.

Zum Schutz vor UV-Strahlung wurde ein Acrylharzschutzanstrich (Sikagard 680 S Betoncolor) aufgebracht (Bild 9).

Folgerungen

Zum Zeitpunkt der Durchführung der Verstärkung in 2006 bestand für die Verstärkung mit aufgeklebten CFK-Lamellen eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, die die Anwendung bei Brückenbauwerken ermöglichte.

Mit den aufgeklebten CFK-Lamellen wurde an diesem Brückenbauwerk in Querrichtung ein Verstärkungsgrad von 1,3 erreicht.

Bilder und Bauwerksskizzen



Bild 1: Übersichtsfoto des Bauwerks

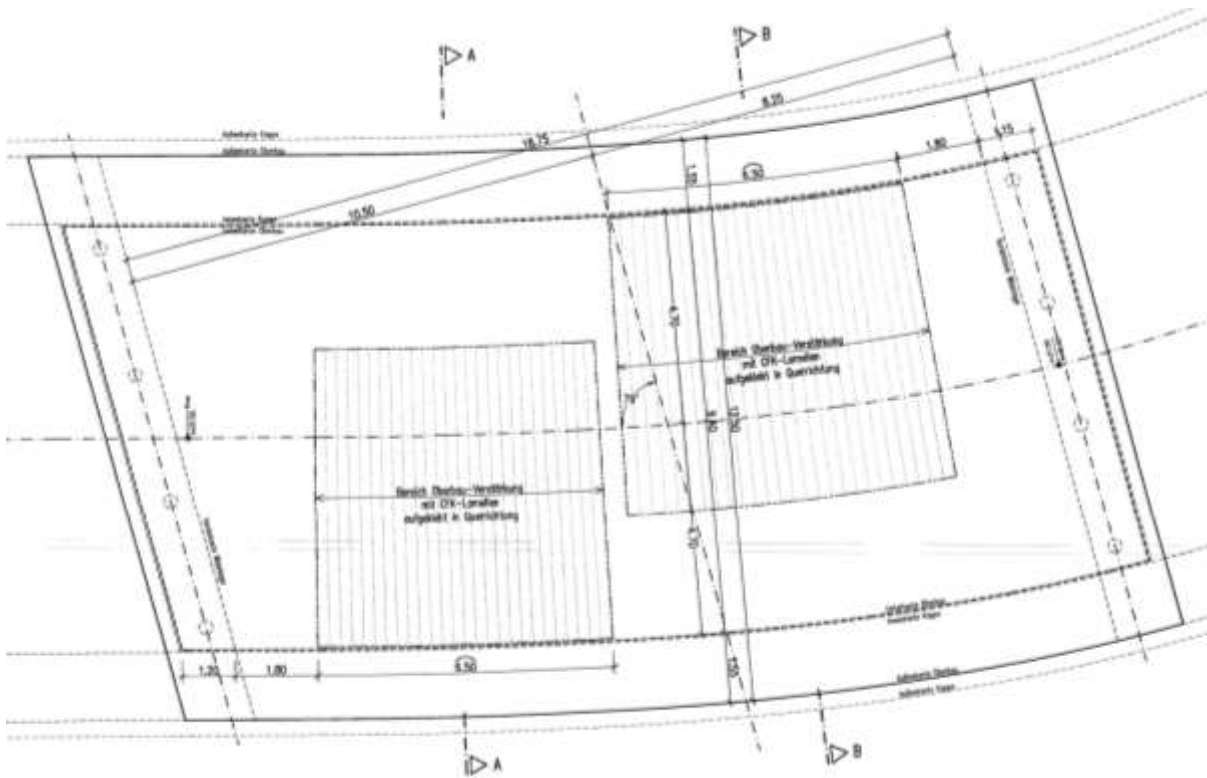


Bild 2: Draufsicht

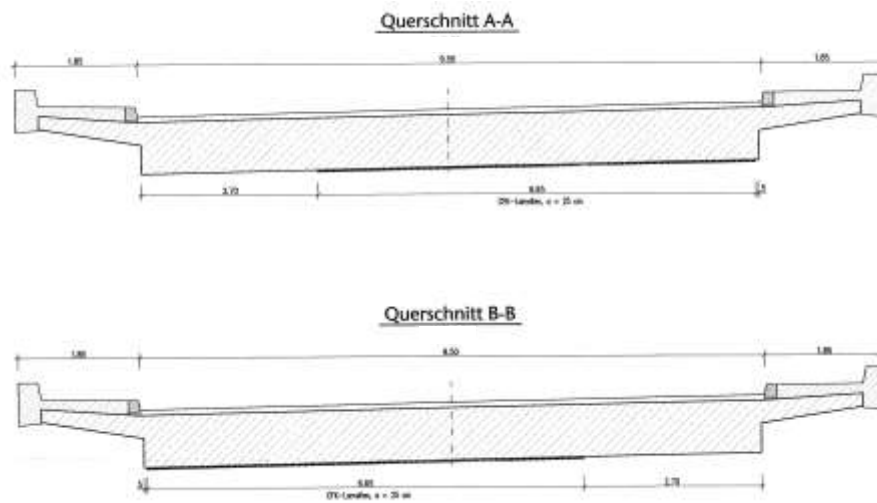


Bild 3: Querschnitte A-A und B-B aus Bild 2

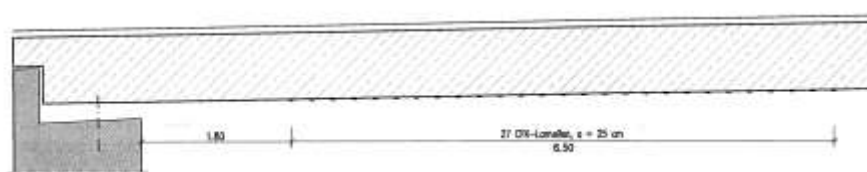


Bild 4: Längsschnitt

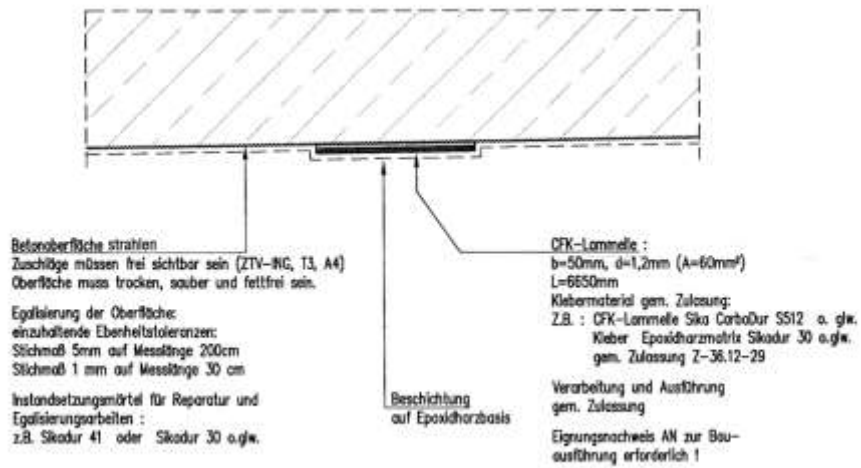


Bild 5: Detail CFK-Lamelle



Bild 6: Ermittlung der Haftzugfestigkeit des Bestandsüberbaus



Bild 7: Aufkleben der CFK-Lamellen



Bild 8: Untersicht nach erfolgter Verstärkung

Verstärkungstechnik:	5. Aufgeklebte CFK-Lamellen	Lfd. Nr.:	5.2	Blatt:	1
Verstärkung 5.2:		Traglasterhöhung in Querrichtung einer Hohlkörperplatte mit aufgeklebten CFK-Lamellen			
Bauwerksdaten					
1. Allgemeine Angaben					
1.1	Einzel- und Gesamtstützweiten:	19,57		m	
1.2	Zahl der Felder:	1			
1.3	Breite zwischen den Geländern:	i.M. 41,7		m	
1.4	Brückenfläche:	816		m ²	
1.5	Bauwerkswinkel:	91,6		gon	
1.6	Brückenklasse (vor der Verstärkung):	BK 60 (DIN 1072)			
1.7	Brückenklasse (nach der Verstärkung):	BK 60 (DIN 1072)			
1.8	Baujahr:	1964			
1.9	Baukosten insgesamt:	-		€	
1.10	Baukosten bezogen auf Brückenfläche:	-		€/m ²	
2. Angaben zur Konstruktion					
2.1	Hauptbaustoff:	Spannbeton			
2.2	Bauwerkssystem in Längsrichtung:	Rahmenbauwerk; interne, beschränkte Vorspannung			
2.3	Bauwerkssystem in Querrichtung:	Hohlkörperplatte			
2.4	System der Lagerung:	Stielfüße und / oder Kämpfer des Rahmens eingespannt			
2.5	Pfeiler / Stützen:	-			
2.6	Widerlager:	Massive Widerlagerwand, Flügel nicht verbunden			
2.7	Gründung:	Flachgründung			
2.8	Belag, Oberflächen- und Korrosionsschutz:	Mastixabdichtung, Schutz- und Deckschicht aus Gussasphalt, OS-C Beschichtung			
3. Baustoffe					
3.1	Überbau:	Spannbeton: B 450 (entspricht C30/37); Baustahl BSt IIIb ($f_{yk} = 400 \text{ N/mm}^2$); Spannstahl: SIGMA Spannstahl oval gerippt 40 ($f_{p0,2k} = 1420 \text{ N/mm}^2$, $f_{pk} = 1570 \text{ N/mm}^2$)			
3.2	Pfeiler / Stützen:	-			
3.3	Widerlager:	B 225 (entspricht C12/15); Baustahl BSt IIIb ($f_{yk} = 400 \text{ N/mm}^2$)			
4. Baugrund					
Kiessand					
Bund/Länder Dienstbesprechung Brücken- und Ingenieurbau			Erfahrungssammlung „Verstärkung von Betonbrücken“		171

5. Besondere, für das Verstärkungserfordernis bedeutsame Bauwerks- und Bauteilmerkmale

Der Überbauquerschnitt (Bilder 1 bis 3) wies zu wenig vorhandene Biegebewehrung in Querrichtung und daher Längsrisse mit einer Rissbreite von bis zu 0,7 mm auf. Die Vorspannung wurde mit spannungsrissgefährdetem Spannstahl „Sigma oval 40“ ausgeführt.

Angaben zur Art der Verstärkung

- | | | |
|-----|--|--|
| 1. | Kurzbeschreibung: | Verstärkung des Überbauquerschnittes in Querrichtung |
| 2. | Grund und Ursache bzw. Ziel der Verstärkung: | Minderbewehrung in Querrichtung |
| 3. | Verstärkte Bauteile: | Überbau |
| 4. | Verstärkungsanwendung: | Global |
| 5. | Kosten der Verstärkungsmaßnahme: | |
| | - insgesamt: | 75.000 € je Teilbauwerk |
| | - bezogen auf die Brückenfläche: | 184 €/m ² |
| 6. | Zeitraum der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme: | 2008 (1,5 Monate) |
| 7.1 | Nutzungseinschränkung während der Verstärkungsmaßnahme: | - |
| 7.2 | Nutzungseinschränkung nach der Verstärkungsmaßnahme: | - |
| 8. | Voraussichtliche Nutzungsdauer: | Temporär |

Ursachen für den Verstärkungsbedarf

Die beiden Überbauten wiesen an der Unterseite mehrere, bis 0,7 mm breite Längsrisse auf. Ursache war eine Minderbewehrung in Querrichtung. Erforderlich sind ca. 10,1 cm²/m

im Widerlagerbereich, bzw. 9,0 cm²/m im Feldbereich. Vorhanden waren nur jeweils 4,71 cm²/m.

Beschreibung der Verstärkung

Im Rahmen der Verstärkungsmaßnahme wurde eine Betoninstandsetzung in Form einer Rissverpressung sowie ein Ausgleich von Unebenheiten durchgeführt. Auf die somit vorbereitete Betonunterlage wurden zur Verstärkung des Bauteils in Querrichtung die seinerzeit zugelassenen CFK-Lamellen (MC-DUR 160/2400, Breite 100 mm, Dicke 1,4 mm, 92 Stück, Abstand i. M. 35 cm, Zulassung Z-

36.12-63) aufgeklebt (Bilder 5, 6 und 8). Die Arbeiten wurden nachts (bei niedrigen Temperaturen des Überbaus und geringeren Verkehrsbelastungen) ausgeführt. Anschließend wurde die Unterseite der Brücke mit einem Oberflächenschutzsystem OS-C gemäß ZTV-ING versehen (Bild 8).

Folgerungen

Zum Zeitpunkt der Durchführung der Verstärkung in 2008 bestand für die Verstärkung mit aufgeklebten CFK-Lamellen eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, die die Anwendung bei Brückenbauwerken ermöglichte. Um die

Wirksamkeit der Verstärkung auch langfristig sicherzustellen, werden die verstärkten Bauteile alle sechs Monate in einer Sonderprüfung überwacht.

Bilder und Bauwerksskizzen



Bild 1: Übersichtsfoto des Brückenbauwerks

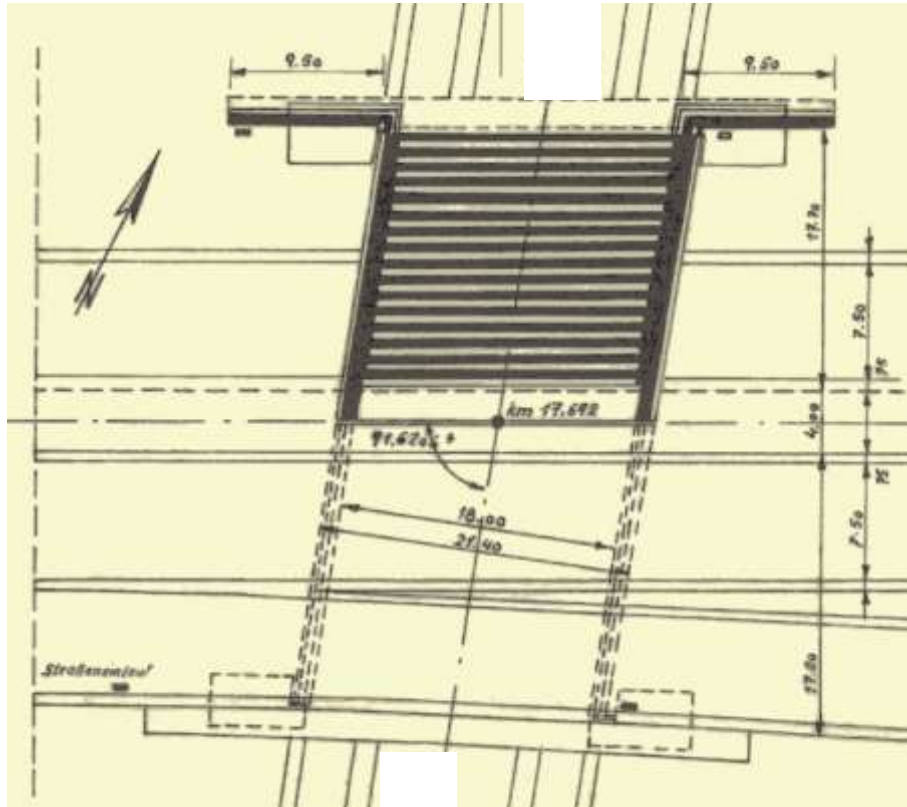


Bild 2: Bauwerksskizze (Draufsicht)

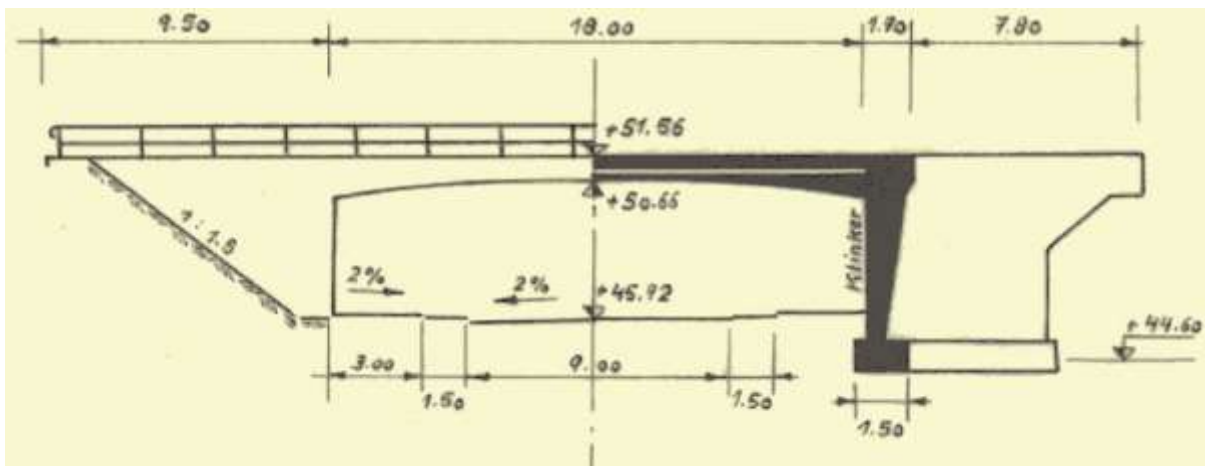


Bild 3: Bauwerksskizze (Längsschnitt)

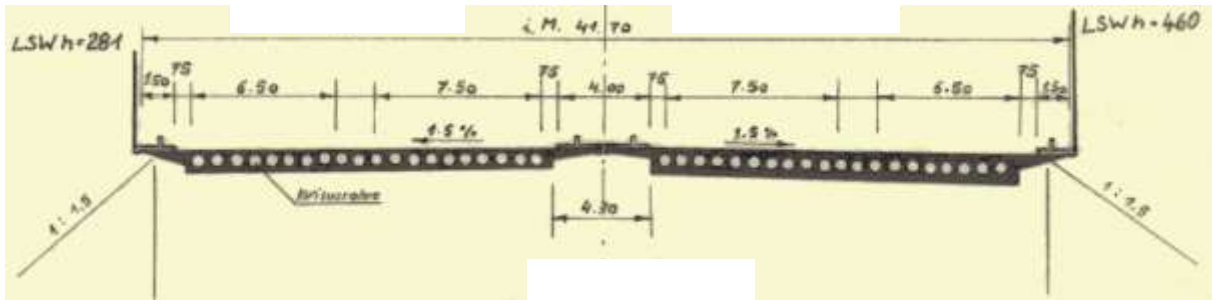


Bild 4: Bauwerksskizze (Querschnitt)

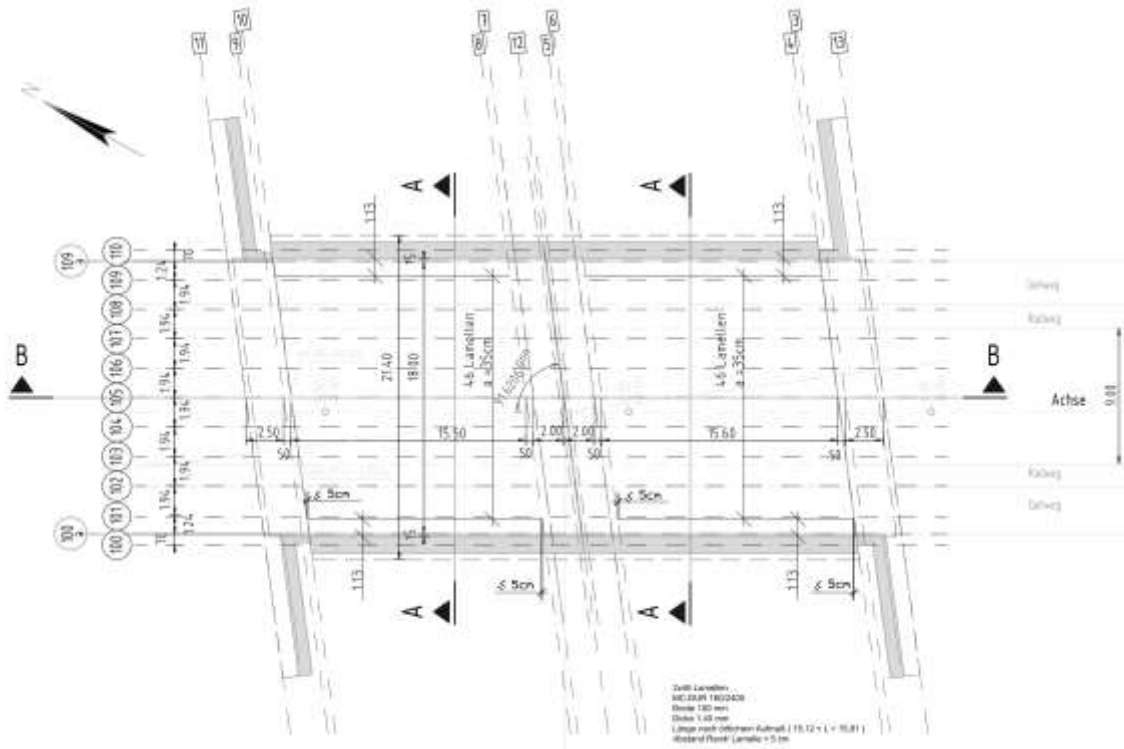


Bild 5: Draufsicht nach der Verstärkung

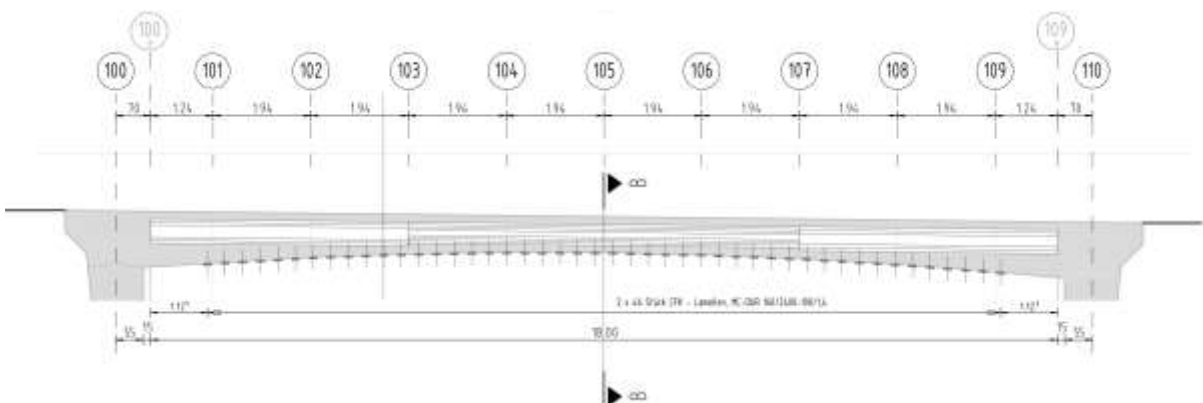


Bild 6: Längsschnitt nach der Verstärkung

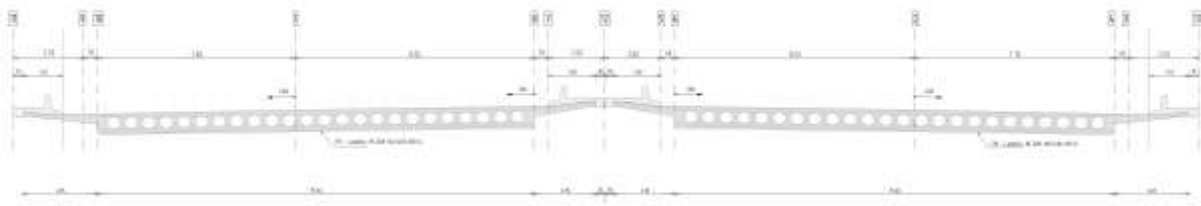


Bild 7: Querschnitt nach der Verstärkung



Bild 8: Plattenunterseite – Aufgeklebte CFK-Lamellen inklusive der OS-Beschichtung

Verstärkung 5.3: Am Längsträger aufgeklebte CFK-Lamellen

Bauwerksdaten

1. Allgemeine Angaben

1.1 Einzel- und Gesamtstützweiten:	16 × 50 = 800	m
1.2 Zahl der Felder:	16	
1.3 Breite zwischen den Geländern:	15	m
1.4 Brückenfläche:	12.000	m ²
1.5 Bauwerkswinkel:	100	gon
1.6 Brückenklasse (vor der Verstärkung):	BK 60 (DIN 1072)	
1.7 Brückenklasse (nach der Verstärkung):	BK 60/30 (DIN 1072)	
1.8 Baujahr:	1969	
1.9 Baukosten insgesamt:	16.500.000 DM \triangleq 8.436.316	€
1.10 Baukosten bezogen auf Brückenfläche:	703	€/m ²

2. Angaben zur Konstruktion

2.1 Hauptbaustoff:	Spannbeton / Stahlbeton
2.2 Bauwerkssystem in Längsrichtung:	Mehrfeldträger ohne Durchlaufwirkung
2.3 Bauwerkssystem in Querrichtung:	Mehrstegiger Plattenbalken
2.4 System der Lagerung:	Verformungslager
2.5 Pfeiler / Stützen:	Pfeiler
2.6 Widerlager:	Wand mit Flügeln
2.7 Gründung:	Flachgründung und Tiefgründung (Bohrpfähle)
2.8 Belag, Oberflächen- und Korrosionsschutz:	Splittmastix, OS-B

3. Baustoffe

3.1 Überbau:	B 450 (entspricht C30/37); Betonstahl BSt 42/50 RU (IIIU) ($f_{yk} = 420 \text{ N/mm}^2$); Spannstahl St 1420/1570 ($f_{p0,2k} = 1420 \text{ N/mm}^2$, $f_{pk} = 1570 \text{ N/mm}^2$)
3.2 Pfeiler / Stützen:	B 450 (entspricht C30/37); Betonstahl BSt 42/50 RU (IIIU) ($f_{yk} = 420 \text{ N/mm}^2$)
3.3 Widerlager:	B 225 (entspricht C12/15); Baustahl BSt 22/34 GU (IIIG) ($f_{yk} = 220 \text{ N/mm}^2$)

4. Baugrund Tonstein

5. Besondere, für das Verstärkungserfordernis bedeutsame Bauwerks- und Bauteilmerkmale

Keine besonderen Merkmale.

Angaben zur Art der Verstärkung

1.	Kurzbeschreibung:	Verstärkung der Längsträger mit CFK-Lamellen
2.	Grund und Ursache bzw. Ziel der Verstärkung:	Traglasterhöhung auf SLW 60/30
3.	Verstärkte Bauteile:	Längsträger
4.	Verstärkungsanwendung:	Global
5.	Kosten der Verstärkungsmaßnahme:	
	- insgesamt:	Ca. 500.000 €
	- bezogen auf die Brückenfläche:	Ca. 417 €/m ²
6.	Zeitraum der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme:	2001 (6 Monate)
7.1	Nutzungseinschränkung während der Verstärkungsmaßnahme:	-
7.2	Nutzungseinschränkung nach der Verstärkungsmaßnahme:	-
8.	Voraussichtliche Nutzungsdauer:	Dauerhaft

Ursachen für den Verstärkungsbedarf

Durch die Verstärkung wurde eine Einstufung in die Brückenklasse 60/30 (nach DIN 1072) angestrebt.

Aus wirtschaftlichen und ästhetischen Überlegungen, sowie aus Gründen der Dauerhaftigkeit, wurde eine Verstärkung mit aufgeklebten CFK-Lamellen gewählt.

Beschreibung der Verstärkung

Im Zugzonenbereich der Randträger (jeweils in den Mittelfeldern) wurden die Flanschunterseiten der Längsträger jeweils mit fünf CFK-Lamellen verstärkt (Bild 5). Ca. 5.000 m CFK-Lamellen (Sto S&P) mit einer Sonderbreite von 150 mm und einer Dicke von 1,4 mm wurden unterseitig aufgeklebt. Die Lamellen wurden in nicht vorgespanntem Zustand aufgeklebt, anschließend mit einer Haftbrücke behandelt und mit trockenem Quarzsand abgestreut.

Auf die geglättete Schicht des Feinspachtels wurde das OS-C System aufgetragen. Die erste Schicht der beiden Oberflächen-schutzschichten wurde im Airless-Verfahren, die zweite (zweiter Arbeitsgang) mit einer Walze aufgetragen.

Im Anschluss an die Verstärkung wurde eine betonfarbene Beschichtung aufgetragen. Somit ist die nachträgliche Verstärkung der Stegunterseiten von unten nicht wahrnehmbar (Bild 6).

Folgerungen

Zum Zeitpunkt der Durchführung der Verstärkung in 2001 bestand für die Verstärkung mit aufgeklebten CFK-Lamellen eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, die die Anwendung bei Brückenbauwerken ermöglichte. Durch die erfolgreich umgesetzte Verstärkungsmaßnahme

konnte das Bauwerk in die Brückenklasse 60/30 eingestuft werden. Hierbei wurde das äußere Erscheinungsbild des Brückenbauwerks nicht beeinträchtigt.

Bilder und Bauwerksskizzen

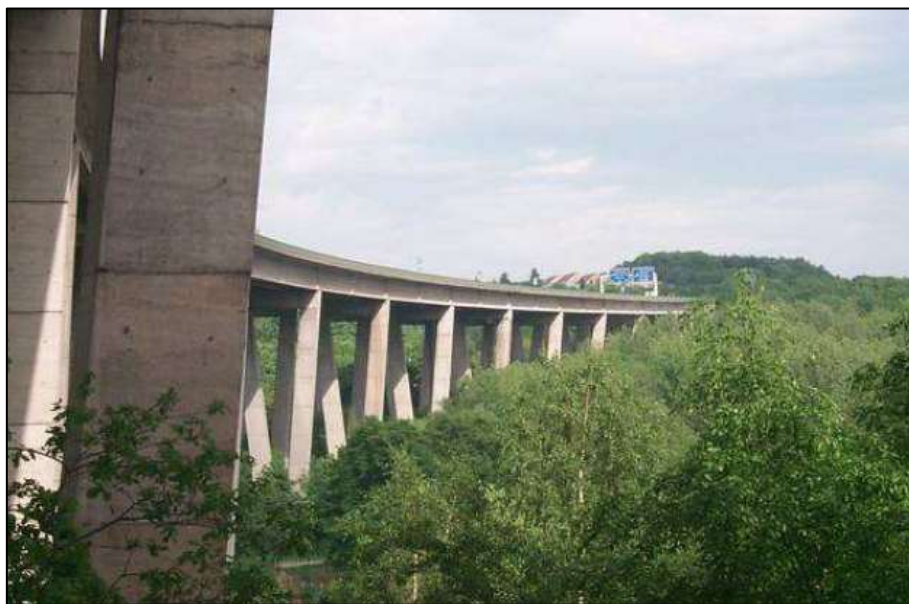


Bild 1: Übersichtsfoto des Bauwerks

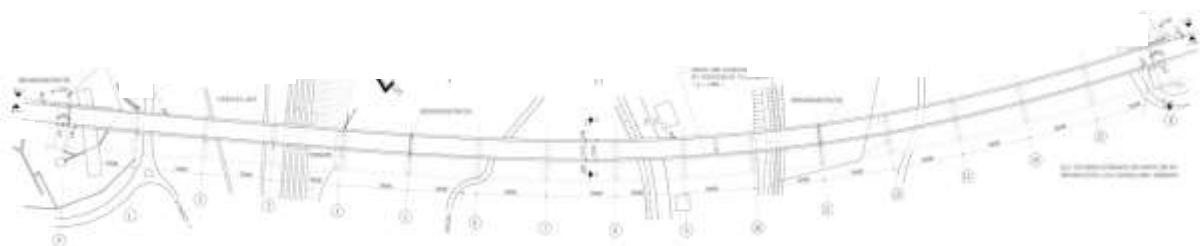


Bild 2: Draufsicht

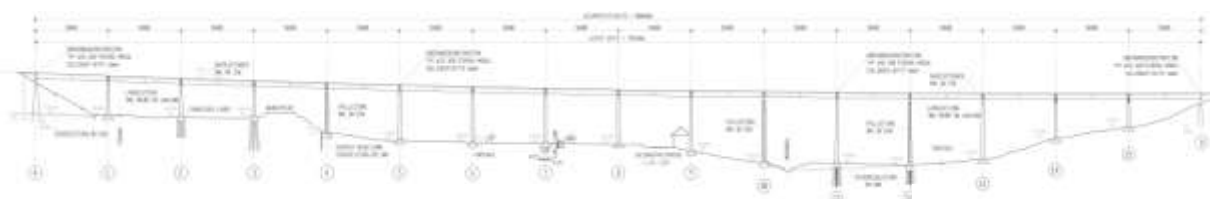


Bild 3: Längsschnitt

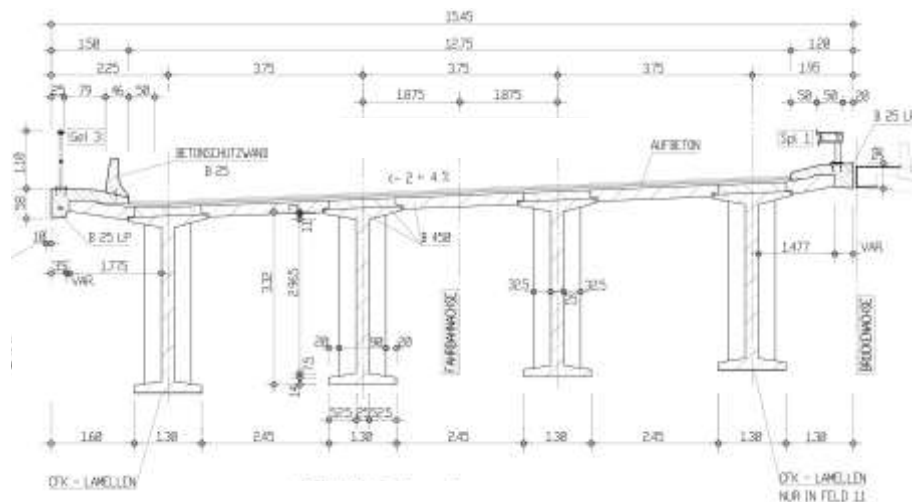


Bild 4: Regelquerschnitt



Bild 5: CFK-Lamellen im Zugbereich der Randträger, abgestreut und noch nicht beschichtet



Bild 6: Untersicht nach Verstärkung

Verstärkung 5.4: Aufgeklebte CFK-Lamellen auf Riegel einer Rahmenbrücke zur Erhöhung der Brückenklasse

Bauwerksdaten

1. Allgemeine Angaben

1.1 Einzel- und Gesamtstützweiten:	15,7	m
1.2 Zahl der Felder:	1	
1.3 Breite zwischen den Geländern:	15,95	m
1.4 Brückenfläche:	267	m ²
1.5 Bauwerkswinkel:	76,41	gon
1.6 Brückenklasse (vor der Verstärkung):	BK 60 (DIN 1072)	
1.7 Brückenklasse (nach der Verstärkung):	BK 60/30 (DIN 1072)	
1.8 Baujahr:	1958	
1.9 Baukosten insgesamt:	243.477 DM \approx 124.488	€
1.10 Baukosten bezogen auf Brückenfläche:	466	€/m ²

2. Angaben zur Konstruktion

2.1 Hauptbaustoff:	Stahlbeton
2.2 Bauwerkssystem in Längsrichtung:	Rahmen
2.3 Bauwerkssystem in Querrichtung:	Platte, biegesteif
2.4 System der Lagerung:	-
2.5 Pfeiler / Stützen:	-
2.6 Widerlager:	Stützwand mit Flügeln
2.7 Gründung:	Streifenfundamente
2.8 Belag, Oberflächen- und Korrosionsschutz:	Gussasphalt, Splittmastixasphalt, Bindemittel Bitumen

3. Baustoffe

3.1 Überbau:	B 300 (entspricht C20/25); Betonstahl BSt 22/34 RU (I R) ($f_{yk} = 220 \text{ N/mm}^2$)
3.2 Pfeiler / Stützen:	
3.3 Widerlager:	B 300 (entspricht C20/25); Betonstahl BSt 22/34 RU (I R) ($f_{yk} = 220 \text{ N/mm}^2$)

4. Baugrund

-

5. Besondere, für das Verstärkungserfordernis bedeutsame Bauwerks- und Bauteilmerkmale

Keine besonderen Merkmale.

Angaben zur Art der Verstärkung

- | | | |
|-----|--|---|
| 1. | Kurzbeschreibung: | Ertüchtigung mittels aufgeklebter CFK-Lamellen und Stahlblechverankerungen quer zu den Lamellen |
| 2. | Grund und Ursache bzw. Ziel der Verstärkung: | Traglasterhöhung auf BK 60/30 |
| 3. | Verstärkte Bauteile: | Rahmenriegel |
| 4. | Verstärkungsanwendung: | Global |
| 5. | Kosten der Verstärkungsmaßnahme: | |
| | - insgesamt: | 365.000 € (Instandsetzung insgesamt) |
| | - bezogen auf die Brückenfläche: | 1.367 €/m ² |
| 6. | Zeitraum der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme: | 2002 (4 Monate) |
| 7.1 | Nutzungseinschränkung während der Verstärkungsmaßnahme: | - |
| 7.2 | Nutzungseinschränkung nach der Verstärkungsmaßnahme: | - |
| 8. | Voraussichtliche Nutzungsdauer: | Dauerhaft |

Ursachen für den Verstärkungsbedarf

Durch die Verstärkung wurde eine Einstufung in die Brückenklasse 60/30 (nach DIN 1072) angestrebt.

Beschreibung der Verstärkung

Für die Instandsetzung und Ertüchtigung des Überbaus, der Widerlager und der Flügelwände wurden bei oberflächennah liegender Bewehrung (Überdeckung < 4 cm) freiliegende Bewehrungsstäbe durch HDWS mit zugelassenen Strahlmitteln gereinigt. Die freigelegte Bewehrung wurde mit einem Korrosionsschutzanstrich versehen. Am gesamten Bauwerk wurden vorhandene Risse mit Breiten > 0,2 mm verpresst und die Oberfläche im Anschluss durch HDWS vorbereitet. In den Schadstellen der Widerlager und Flügelwände wurde ein Betonersatz mittels SPCC vorgenommen. Im Bereich der Schadstellen an der Überbauunterseite wurde Spritzbeton eingesetzt. Anschließend wurde die gesamte Oberfläche mit einer 0,5 bis 1,0 cm dicken Schicht aus PCC-Feinspachtelmasse

geglättet und entsprechend OS-B nach ZTV-SIB 90 beschichtet.

Zur Verstärkung mittels CFK-Lamellen wurde vorhandener Feinspachtel vom Betonuntergrund mittels HDWS entfernt. Danach wurde eine Ausgleichsspachtelung mit fremdüberwachtem PC-Mörtel bis zu 35 mm aufgetragen. Als CFK-Lamellen wurden Bilfinger + Berger Carbopius 100 x 1,4 mm gewählt. Im Voutenknicke wurden die CFK-Lamellen mit Stahlblechen 60 x 10 mm fixiert.

Die Bereiche zwischen den CFK-Lamellen wurden mit SPCC-Mörtel (Pagel SP20) geschlossen. Abschließend wurden Feinspachtel ($d = 5$ mm) und eine OS-B Beschichtung (Ispo Betoncryl) aufgetragen (Bilder 4 und 5).

Folgerungen

Zum Zeitpunkt der Durchführung der Verstärkung in 2002 bestand für die Verstärkung mit aufgeklebten CFK-Lamellen eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, die die Anwendung bei Brückenbauwerken ermöglichte. Durch die

Verstärkung konnte die Brückenklasse auf 60/30 erhöht werden.

Bilder und Bauwerksskizzen



Bild 1: Übersichtsfoto des Bauwerks

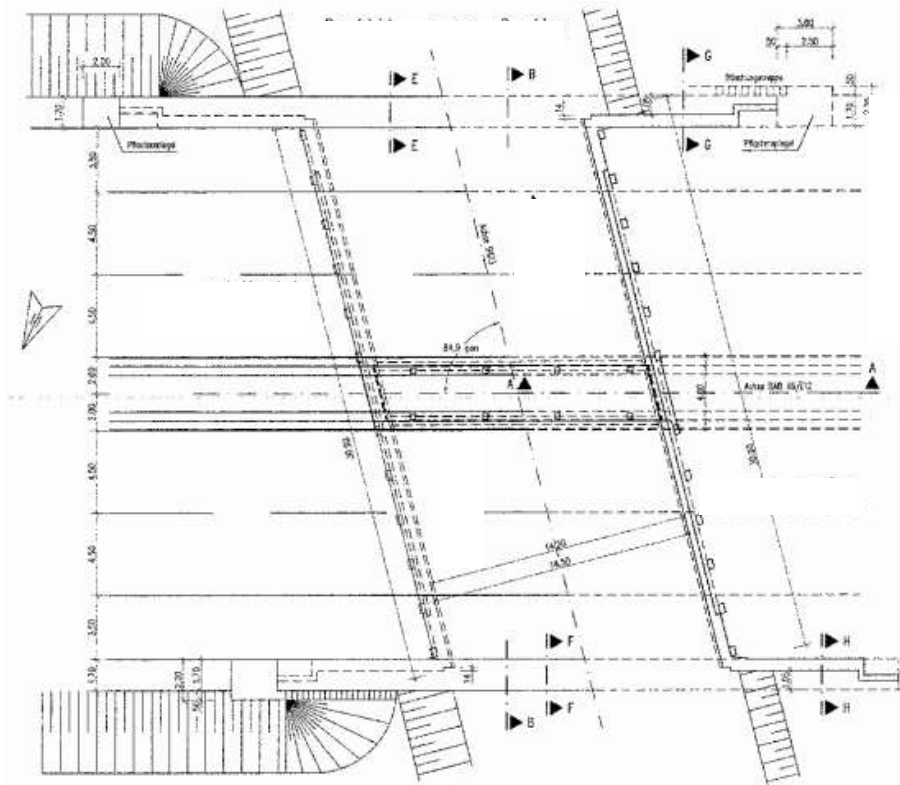


Bild 2: Draufsicht

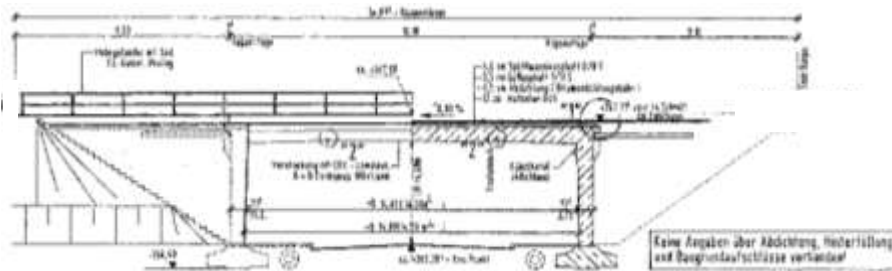


Bild 3: Längsschnitt



Bild 4: Unteransicht Mittelkappen und Kragarme



Bild 5: Unteransicht Überbau nach der Verstärkung

Verstärkung 6.1: In Schlitze eingeklebte CFK-Lamellen am Überbau einer Plattenbrücke

Bauwerksdaten

1. Allgemeine Angaben

1.1 Einzel- und Gesamtstützweiten:	8,5 + 15,2 + 15,2 + 8,5 = 47,4	m
1.2 Zahl der Felder:	4	
1.3 Breite zwischen den Geländern:	7,8	m
1.4 Brückenfläche:	368	m ²
1.5 Bauwerkswinkel:	96,9	gon
1.6 Brückenklasse (vor der Verstärkung):	BK 30 (DIN 1072)	
1.7 Brückenklasse (nach der Verstärkung):	BK 30/30 (DIN 1072)	
1.8 Baujahr:	1970	
1.9 Baukosten insgesamt:	352.000 DM \triangleq 179.975	€
1.10 Baukosten bezogen auf Brückenfläche:	489	€/m ²

2. Angaben zur Konstruktion

2.1 Hauptbaustoff:	Stahlbeton
2.2 Bauwerkssystem in Längsrichtung:	Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung
2.3 Bauwerkssystem in Querrichtung:	Platte, quer biegesteif
2.4 System der Lagerung:	Verformungslager, Mittelpfeiler gehalten
2.5 Pfeiler / Stützen:	Rundpfeiler, massiv
2.6 Widerlager:	Kastenwiderlager
2.7 Gründung:	Flachgründung
2.8 Belag, Oberflächen- und Korrosionsschutz:	Splittmastixasphalt

3. Baustoffe

3.1 Überbau:	Stahlbeton, B 300 (entspricht C20/25)
3.2 Pfeiler / Stützen:	Stahlbeton, B 300 (entspricht C20/25)
3.3 Widerlager:	Stahlbeton, B 225 / B 300 (entspricht C12/15 / C20/25)

4. Baugrund

-

5. Besondere, für das Verstärkungserfordernis bedeutsame Bauwerks- und Bauteilmerkmale

Keine besonderen Merkmale

Angaben zur Art der Verstärkung

- | | | |
|-----|--|--|
| 1. | Kurzbeschreibung: | Ertüchtigung des Bauwerks mit in Schlitzen eingeklebten CFK-Lamellen in den Endfeldern |
| 2. | Grund und Ursache bzw. Ziel der Verstärkung: | Traglasterrhöhung |
| 3. | Verstärkte Bauteile: | Überbau Feld 1 und 4 |
| 4. | Verstärkungsanwendung: | Lokal |
| 5. | Kosten der Verstärkungsmaßnahme: | |
| | - insgesamt: | 22.000 € |
| | - bezogen auf die Brückenfläche: | 60 €/m ² |
| 6. | Zeitraum der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme: | 2008 (2 Monate) |
| 7.1 | Nutzungseinschränkung während der Verstärkungsmaßnahme: | Vollsperrung |
| 7.2 | Nutzungseinschränkung nach der Verstärkungsmaßnahme: | Wegen Fußgängern:
Geschwindigkeitsbegrenzung auf 30 km/h |
| 8. | Voraussichtliche Nutzungsdauer: | Dauerhafte Verstärkung |

Ursachen für den Verstärkungsbedarf

Durch die Verstärkung wurde eine Einstufung von der vorhandenen Brückenklasse 30 in die Brückenklasse 30/30 angestrebt.

Beschreibung der Verstärkung

Die Felder 1 und 4 (Bilder 2 und 5) wurden durch jeweils sechs in Schlitze eingeklebte CFK-Lamellen S&P CFK 150/2000 der Firma StoCretec (Z-36.12-67) mit dem zugehörigen Klebemörtel StoPox SK 41 in Längsrichtung verstärkt (Bilder 6, 7 und 8). Hierzu wurden

senkrecht zur Bauteiloberfläche Schlitze in das Betonbauteil geschnitten. Nach der Reinigung der Schlitze wurden die CFK-Lamellen mittels Epoxidharzklebstoffes in diese eingeklebt

Folgerungen

Durch die Verstärkung wurde eine Einstufung von der vorhandenen Brückenklasse 30 in die Brückenklasse 30/30 erzielt.

Bilder und Bauwerksskizzen



Bild 1: Übersichtfoto des Bauwerks

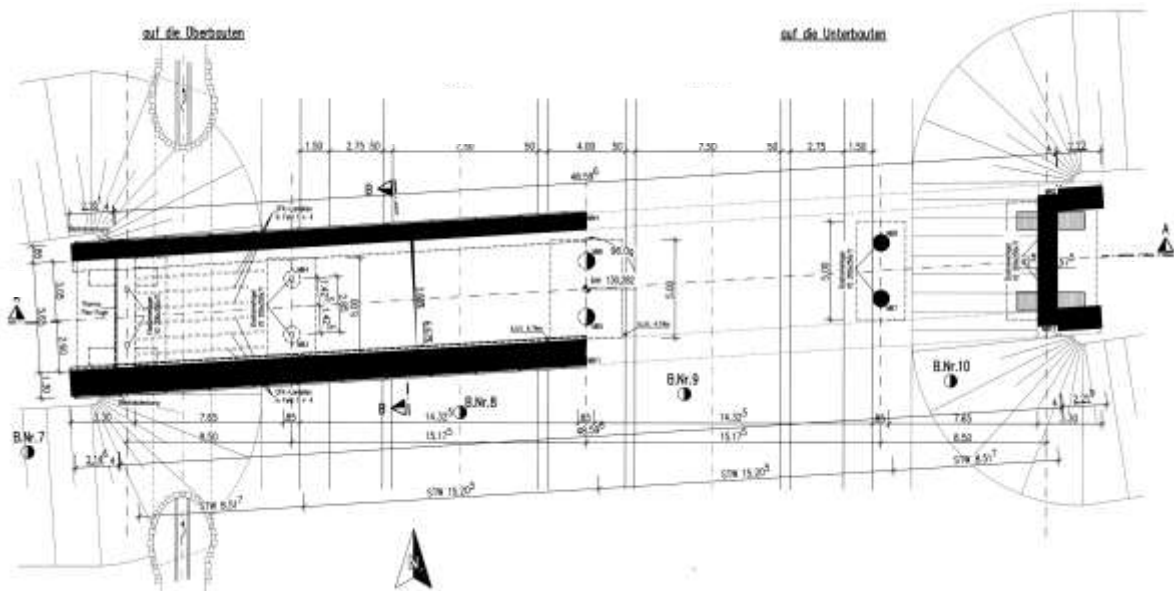


Bild 2: Draufsicht

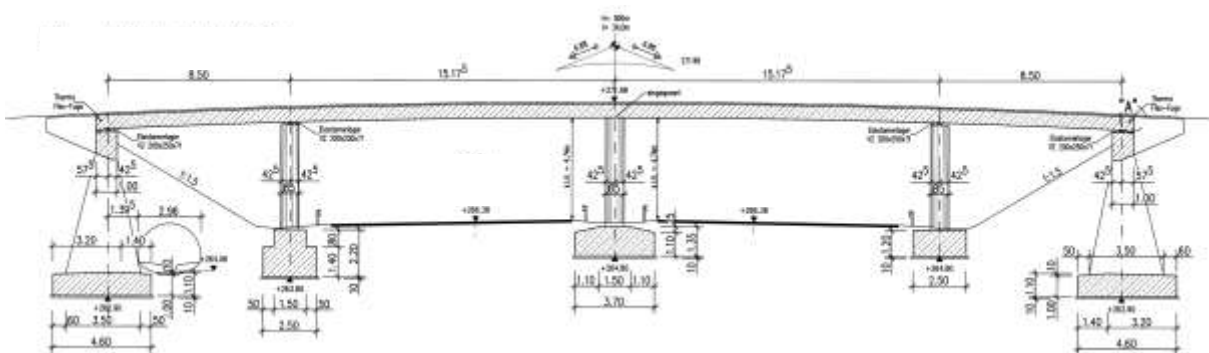


Bild 3: Längsschnitt

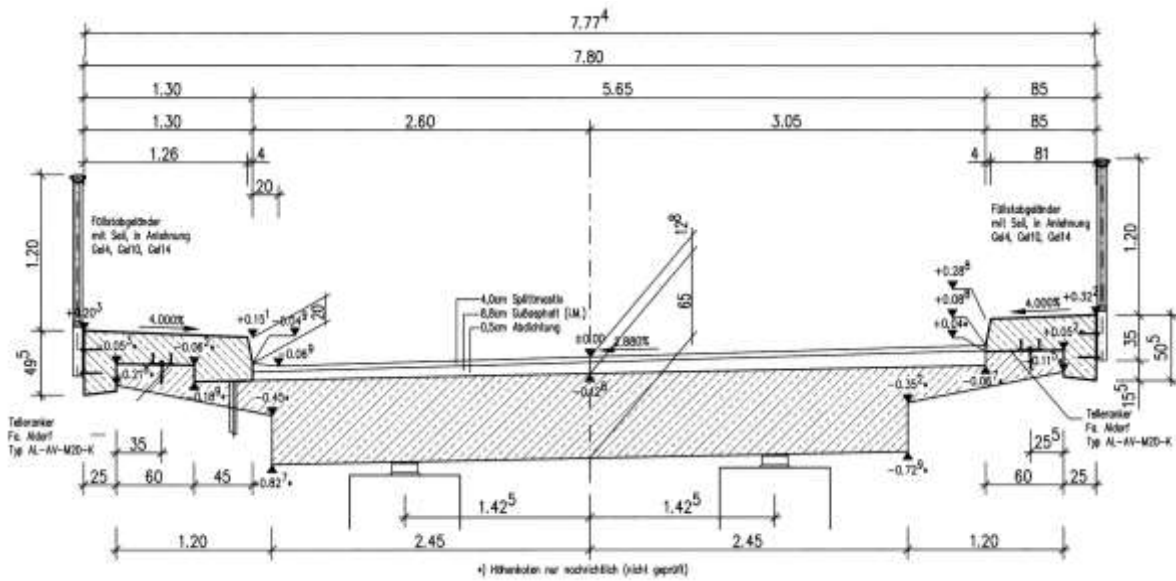


Bild 4: Regelquerschnitt

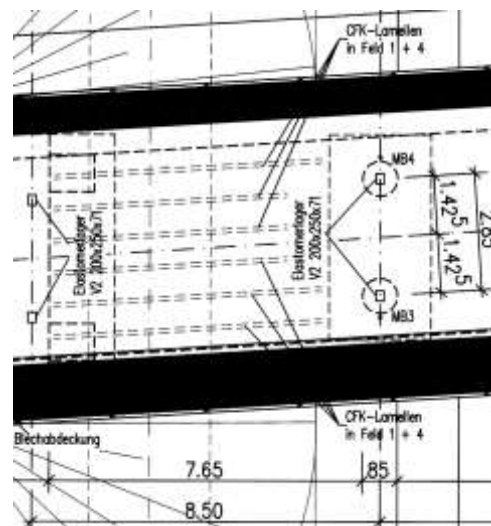


Bild 5: In Schlitz eingelebte CFK-Lamellen in den Feldern 1 + 4



Bild 6: In Schlitze eingeklebte CFK-Lamellen an der Überbauunterseite zwischen Widerlager und Pfeiler



Bild 7: In Schlitze eingeklebte CFK-Lamellen an der Überbauunterseite



Bild 8: In Schlitze eingeklebte CFK-Lamellen an der Überbauunterseite

Verstärkung 6.2: Fahrbahnverbreiterung einer Hohlkastenbrücke unter Einsatz von in Schlitze eingelebten CFK-Lamellen

Bauwerksdaten

1. Allgemeine Angaben

1.1 Einzel- und Gesamtstützweiten:	56 + 86 + 78 + 68 = 270	m
1.2 Zahl der Felder:	4	
1.3 Breite zwischen den Geländern:	13,1	m
1.4 Brückenfläche:	3.537	m ²
1.5 Bauwerkswinkel:	100	gon
1.6 Brückenklasse (vor der Verstärkung):	BK 60/30 (DIN 1072)	
1.7 Brückenklasse (nach der Verstärkung):	BK 60/30 (DIN 1072)	
1.8 Baujahr:	1995	
1.9 Baukosten insgesamt:	9.300.752 DM \cong 4.755.399	€
1.10 Baukosten bezogen auf Brückenfläche:	1.344	€/m ²

2. Angaben zur Konstruktion

2.1 Hauptbaustoff:	Spannbeton
2.2 Bauwerkssystem in Längsrichtung:	Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung
2.3 Bauwerkssystem in Querrichtung:	Hohlkasten
2.4 System der Lagerung:	Festpunkt an einem Mittelpfeiler
2.5 Pfeiler / Stützen:	Begehbare Hohl Pfeiler
2.6 Widerlager:	Begehbare Stahlbetonwiderlager
2.7 Gründung:	Flach- und Pfahlgründung
2.8 Belag, Oberflächen- und Korrosionsschutz:	Dicht 7

3. Baustoffe

3.1 Überbau:	B 45 (entspricht C35/45); Betonstahl BSt 500 D (IV S) ($f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$); Spannstahl St 1570/1770 ($f_{p0,2k} = 1570 \text{ N/mm}^2$, $f_{pk} = 1770 \text{ N/mm}^2$)
3.2 Pfeiler / Stützen:	B 35 (entspricht C25/30), Betonstahl B 500 ($f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$)
3.3 Widerlager:	B 35 (entspricht C25/30), Betonstahl B 500, ($f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$)

4. Baugrund

Gründungssohlen liegen auf tragfähigen Schiefen

5. Besondere, für das Verstärkungserfordernis bedeutsame Bauwerks- und Bauteilmerkmale

Keine besonderen Merkmale.

Angaben zur Art der Verstärkung

- | | | |
|-----|--|--|
| 1. | Kurzbeschreibung: | Verbreiterung der Fahrbahn unter Einsatz von externer Vorspannung und CFK-Lamellen |
| 2. | Grund und Ursache bzw. Ziel der Verstärkung: | Fahrbahnverbreiterung |
| 3. | Verstärkte Bauteile: | Hohlkasten, Querträger und Auskragung |
| 4. | Verstärkungsanwendung: | lokal |
| 5. | Kosten der Verstärkungsmaßnahme: | |
| | - insgesamt: | 2.667.000 € |
| | - bezogen auf die Brückenfläche: | 754 €/m ² |
| 6. | Zeitraum der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme: | 2003 - 2004 (13 Monate) |
| 7.1 | Nutzungseinschränkung während der Verstärkungsmaßnahme: | Halbseitige Sperrung, vereinzelt Vollsperrung |
| 7.2 | Nutzungseinschränkung nach der Verstärkungsmaßnahme: | - |
| 8. | Voraussichtliche Nutzungsdauer: | Dauerhafte Verstärkung |

Ursachen für den Verstärkungsbedarf

Aufgrund der Verkehrssituation der gesamten Ortsumgehung wurde die Straße von zwei Fahrstreifen auf drei Fahrstreifen erweitert.

Eine Mehrbreite von 1,08 m der Brückenfahrbahn wurde bereits durch den Abbruch der Kappen mit Schutzplanken und deren Umbau mit Beton-

Gleitwänden erreicht. Dennoch musste die Fahrbahn des Brückenbauwerks wegen des dritten Fahrstreifens verbreitert werden.

Zudem waren aufgrund des LKW-Verkehrs auf allen drei Fahrspuren Verstärkungsmaßnahmen für die Über- und Unterbauten erforderlich.

Beschreibung der Verstärkung

Als Verstärkung wurde eine Kombination aus zusätzlicher externer Vorspannung mit umgelenkt geführten Spanngliedern und in Schlitze eingeklebten CFK-Lamellen (Carboplus 160/2800-20x2) gewählt.

Auf die zusätzliche externe Vorspannung in Längsrichtung wird an dieser Stelle nicht näher eingegangen.

In Querrichtung wurde aufgrund der weiter zum Überbaurand verlegten LKW-Fahrspur und den daraus resultierenden erhöhten Kragarmmomenten eine zusätzliche Biegezugbewehrung notwendig. Mit einer Betonsäge wurden senkrechte Schlitze in die Oberfläche in Querrichtung des Betonkörpers geschnitten. Die Schlittiefe lag innerhalb der Betondeckung, sodass eine Beschädigung der vorh. Bewehrung

i.A. ausgeschlossen war (Bild 7). Bei dieser Verstärkung wiesen die Schlitze eine Tiefe von 25 – 30 mm und eine Breite von 3 – 5 mm auf (Bilder 8 und 9). Dies entspricht den Regelungen der verwendeten Zulassung. Nach der Herstellung der Schlitze wurden diese mittels eines Gasbrenners getrocknet und mit Druckluft gereinigt (Bild 10). Die CFK-Lamellen wurden mit einem Epoxydharzkleber (MC DUR 1280, Fa. MC Bauchemie) in die Schlitze eingelassen (Bilder 11 bis 14).

Nach dem Aushärten des Klebers wurden auf die Fahrbahn eine Dichtungsschicht sowie ein Gussasphaltbelag aufgebracht.

Ein im Bestand vorhandener Knick der Fahrbahnplatte wurde durch PCC ausgeglichen,

um zukünftig eine ebene Fahrbahnfläche zu erhalten. Wegen dieser geometrischen Gegebenheiten wurden die CFK-Lamellen mit ausreichender Übergreifungslänge gestoßen.

Beim 1. Bauabschnitt wurden Lamellen ohne Abreißgewebe eingesetzt. Dabei war das Anschleifen der Klebseiten ein enormer Zeitaufwand. Beim 2. Bauabschnitt wurde auf Lamellen mit Abreißgewebe umgestellt. Hierbei war das Entfernen der Folie problematisch und erfolgte in mehreren Arbeitsschritten. Im Anschluss mussten die Lamellen gereinigt werden, um eine optimale Oberfläche zu schaffen.

Folgerungen

Um die Gefahr der Beschädigung vorhandener Spannglieder in den Stegen zu minimieren und das gesamte Tragsystem in Querrichtung nicht zu verändern, ist die Verstärkungstechnik „In Schlitze eingeklebte CFK-Lamellen“ eine technisch günstige Lösung. Hierbei ist eine Schädigung innenliegender Bewehrung auszuschließen.

Die Beanspruchung der Fahrbahnplatte in Brückenmitte und die Profilverformung bleiben unverändert.

Das Landschaftsbild bleibt erhalten, da die sichtbaren Brückenteile nicht verändert werden.

Als Nachteil ist der Aufwand für das Herstellen der Rauigkeit der Lamelle zu benennen.

Bilder und Bauwerksskizzen



Bild 1: Übersichtsfoto des Bauwerks

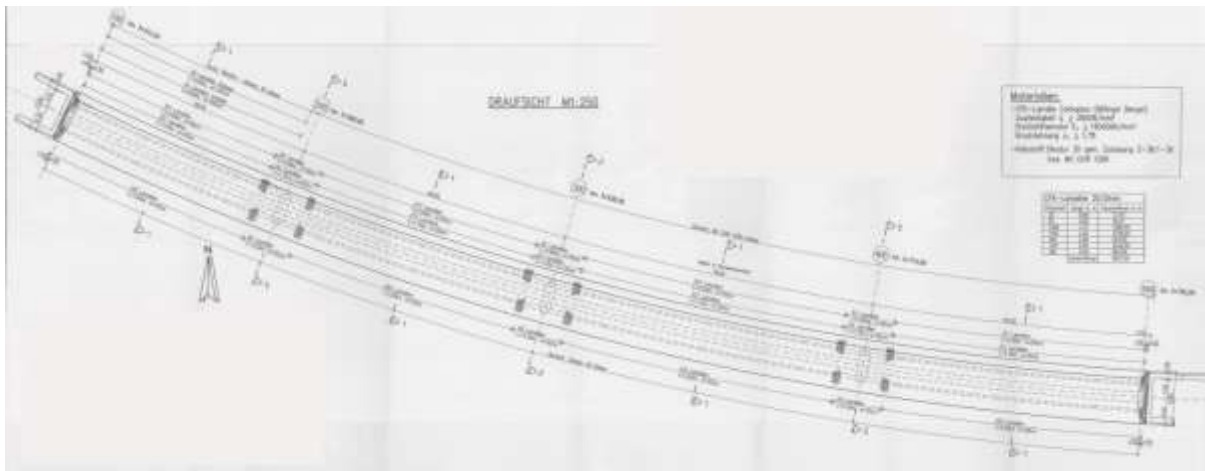


Bild 2: Draufsicht

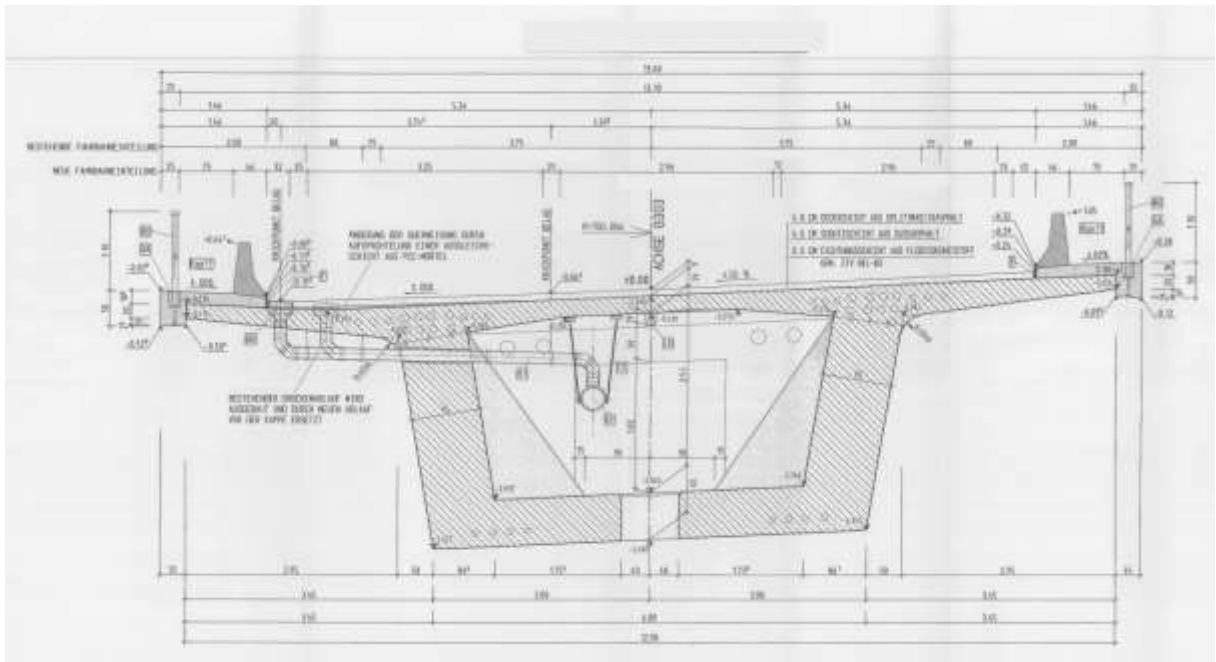


Bild 3: Regelquerschnitt Stütze

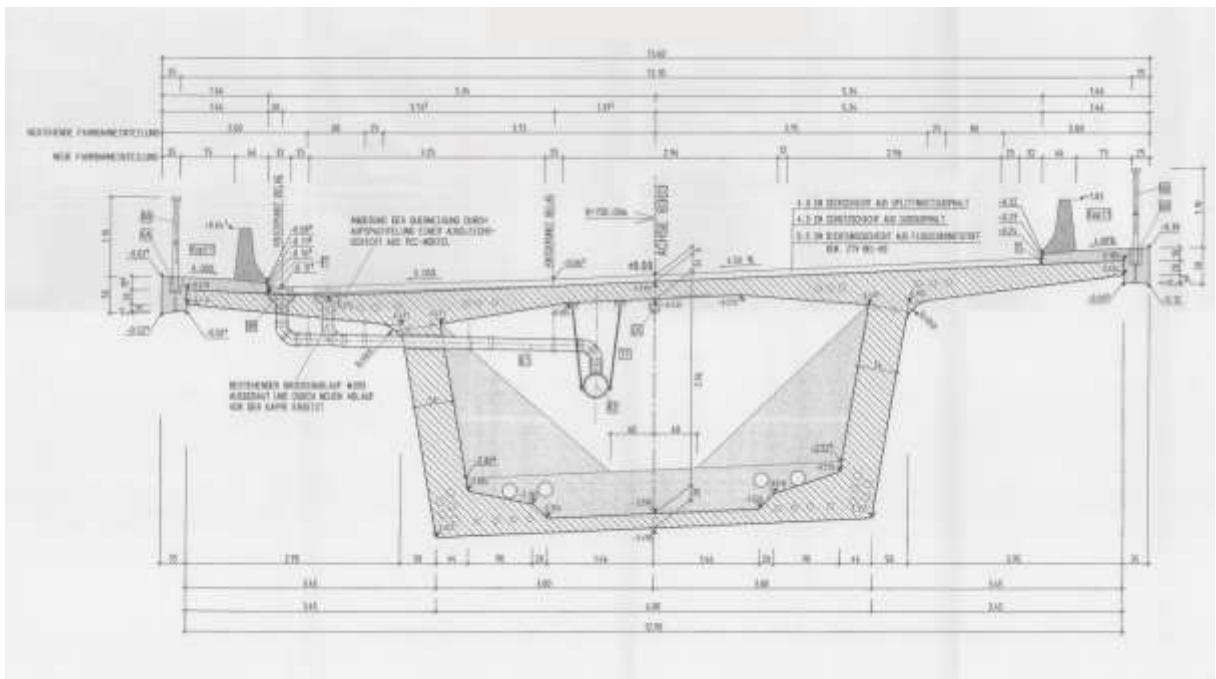


Bild 4: Regelquerschnitt Feld

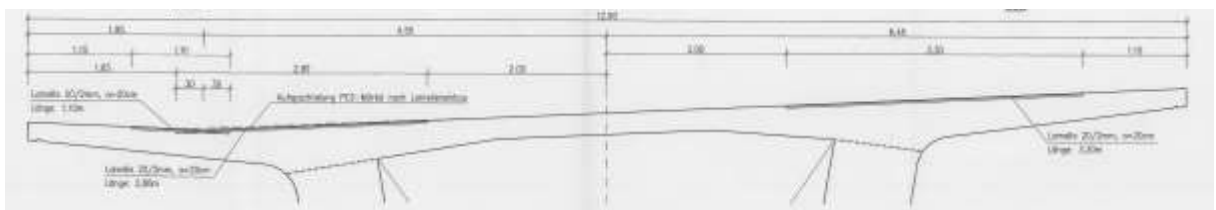


Bild 5: Querschnitt mit zusätzlichen CFK-Lamellen in Schlitzen



Bild 6: Grundriss



Bild 7: Schneiden der Schlitze



Bild 8: Messen der Schlitztiefe



Bild 9: Messen der Schlitzbreite



Bild 10: Austrocknen der Schlitze mittels Gasbrenner, reinigen der Schlitze mittels Druckluft



Bild 11: Einbringen des Epoxidharzklebers mittels Druckluftgerät



Bild 12: Einbringen des Epoxidharzklebers mittels Druckluftgerät mit Aufsatz



Bild 13: Einbringen der CFK-Lamelle in die Schlitze



*Bild 14: Verstreichen von herausgedrückt
Epoxidharzkleber*

Verstärkung 6.3: Verstärkung der Fahrbahnplatte in Querrichtung einer Plattenbalkenbrücke mittels in Schlitz eingelegter CFK-Lamellen

Bauwerksdaten

1. Allgemeine Angaben

1.1 Einzel- und Gesamtstützweiten:	30,46 + 30,55 = 61,01	m
1.2 Zahl der Felder:	2	
1.3 Breite zwischen den Geländern:	13,75	m
1.4 Brückenfläche:	839	m ²
1.5 Bauwerkswinkel:	70	gon
1.6 Brückenklasse (vor der Verstärkung):	BK 60 (DIN 1072)	
1.7 Brückenklasse (nach der Verstärkung):	LM 1 (DIN Fachbericht 101)	
1.8 Baujahr:	1976	
1.9 Baukosten insgesamt:	609.054	€
1.10 Baukosten bezogen auf Brückenfläche:	726	€/m ²

2. Angaben zur Konstruktion

2.1 Hauptbaustoff:	Spannbeton / Stahlbeton
2.2 Bauwerkssystem in Längsrichtung:	Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung
2.3 Bauwerkssystem in Querrichtung:	Plattenbalken / Trägerrost mit Querverteilung
2.4 System der Lagerung:	Kalottenlager; ein Widerlager mit Festlager; querfest auf beiden Widerlagern, sonst allseits beweglich
2.5 Pfeiler / Stützen:	eine Pfeilerreihe mit zwei Rechteck-Einzelstützen
2.6 Widerlager:	Stahlbeton-Kasten-Widerlager
2.7 Gründung:	Flachgründung
2.8 Belag, Oberflächen- und Korrosionsschutz:	Bit. Fahrbahnbelag mit Dichtungsschicht (Schweißbahn auf Kratzspachtelung)

3. Baustoffe

3.1 Überbau:	Spannbeton Bn 450 (entspricht C35/45); Betonstahl BSt 42/50 RU III U ($f_{yk} = 420 \text{ N/mm}^2$) und BSt 42/50 RK ($f_{yk} = 420 \text{ N/mm}^2$); Spannstahl längs: BBRV - Suspa ($f_{p0,2k} = 1470 \text{ N/mm}^2$, $f_{pk} = 1670 \text{ N/mm}^2$)
3.2 Pfeiler / Stützen:	C35/45, Betonstahl BSt 42/50 RU (IIIU) ($f_{yk} = 420 \text{ N/mm}^2$) und BSt 42/50 RK ($f_{yk} = 420 \text{ N/mm}^2$)

3.3 Widerlager: Bn 250 (entspricht C20/25),
Betonstahl BSt 42/50 RU (IIIU) ($f_{yk} = 420 \text{ N/mm}^2$)
und BSt 42/50 RK ($f_{yk} = 420 \text{ N/mm}^2$)

4. Baugrund Gemischtkörniger Boden (Feinsand, Mittelsand)

5. Besondere, für das Verstärkungserfordernis bedeutsame Bauwerks- und Bauteilmerkmale

Keine besonderen Merkmale.

Angaben zur Art der Verstärkung

- | | |
|--|--|
| 1. Kurzbeschreibung: | Traglasterrhöhung mittels eingeschlitzter CFK-Lamellen |
| 2. Grund und Ursache bzw. Ziel der Verstärkung: | Tragfähigkeitserhöhung |
| 3. Verstärkte Bauteile: | Kragarmanschnitt |
| 4. Verstärkungsanwendung: | Lokal |
| 5. Kosten der Verstärkungsmaßnahme: | |
| - insgesamt: | 48.024 € (brutto) |
| - bezogen auf die Brückenfläche: | 71 €/m ² |
| 6. Zeitraum der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme: | - |
| 7.1 Nutzungseinschränkung während der Verstärkungsmaßnahme: | Halbseitige Sperrung / Sperrung des Geh- und Radweges |
| 7.2 Nutzungseinschränkung nach der Verstärkungsmaßnahme: | - |
| 8. Voraussichtliche Nutzungsdauer: | Dauerhafte Verstärkung |

Ursachen für den Verstärkungsbedarf

Im Zuge der Planung der Brückeninstandsetzung und - ertüchtigung, bei der mit der Kappen-erneuerung auch die Schutzeinrichtung nach RPS 2009 erneuert werden musste, wurde die Brücke gemäß Nachrechnungsrichtlinie nach-

gerechnet. In den Kragarmen des Plattenbalkens reichte die vorhandene Bewehrung infolge der Anpralllast und dem dazugehörigen Bemessungsmodell nach DIN-Fachbericht 101 nicht aus.

Beschreibung der Verstärkung

Die Kragarmverstärkung mit in Schlitzen eingeklebten CFK-Lamellen (Standard-Abmessung $b/d = 15/2,5$ oder $20/2,0$ mm) wurde für diese Baumaßnahme umgesetzt. Die Konstruktionsregeln des Zulassungsbescheides Nr. Z-36.12-79 wurden berücksichtigt (Bilder 5

bis 8). Hierzu wurden zunächst senkrecht zur Bauteiloberfläche Schlitze in das Bauteil geschnitten. Anschließend wurden die Schlitze gereinigt und die CFK-Lamellen in diese eingeklebt (Epoxidharzklebstoff).

Folgerungen

Durch die Verstärkung wurde eine max. Restnutzungsdauer des Brückenbauwerks

von 20 Jahren und eine Einstufung in die Nachweisklasse C erreicht.

Bilder und Bauwerksskizzen



Bild 1: Übersichtsfoto des Brückenbauwerks

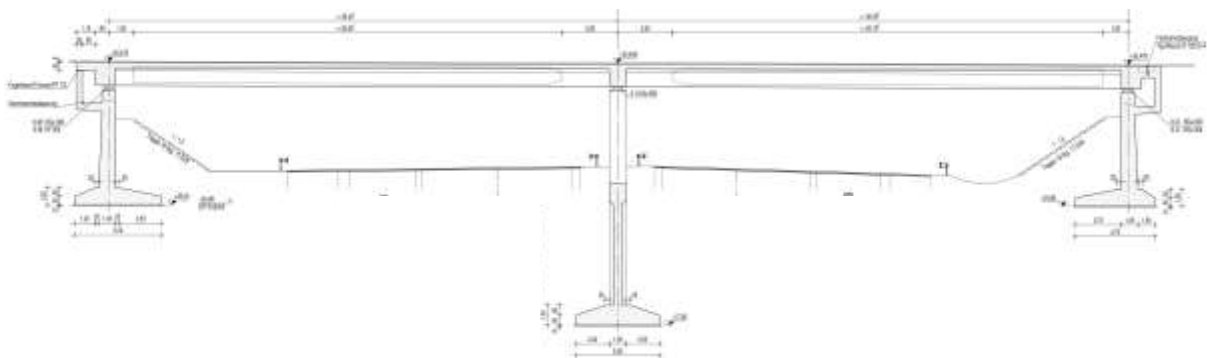


Bild 2: Längsschnitt

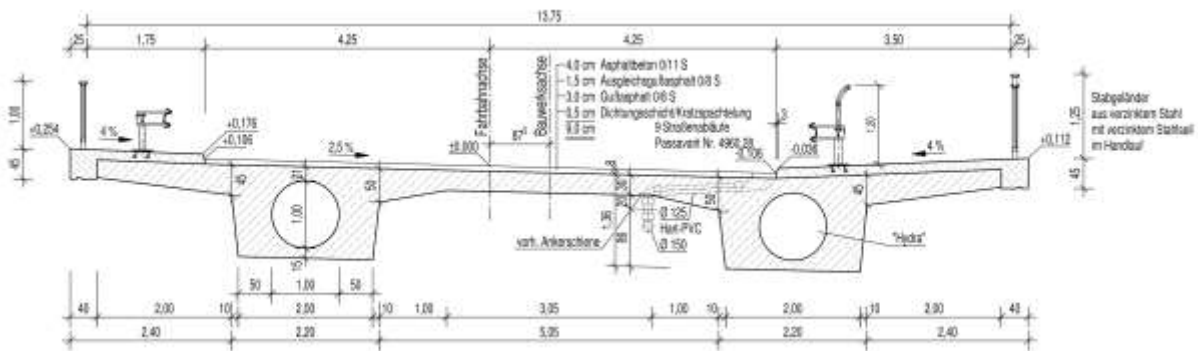


Bild 3: Regelquerschnitt

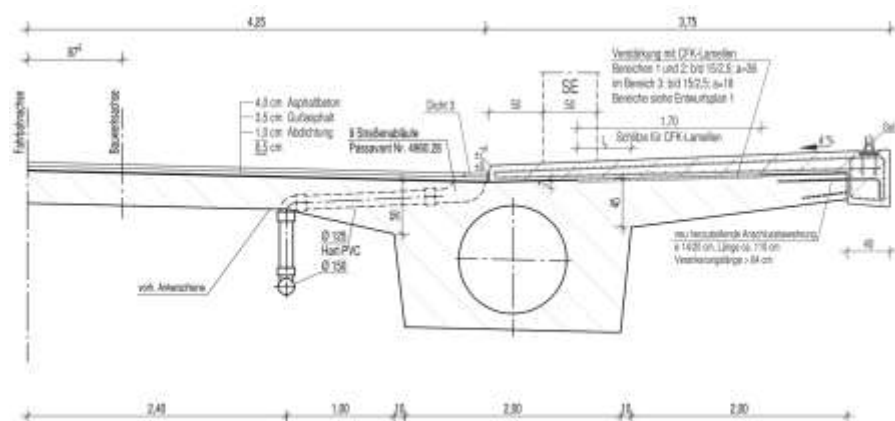


Bild 4: Detail „Kragarmanschnitt“ mit CFK-Lamellen



Bild 5: Einschneiden der Schlitze



Bild 6: Schlitze für die CFK-Lamellen im Kragarm des Plattenbalkens



Bild 7: Einbringen der CFK-Lamellen



Bild 8: Mit eingeschlitzten CFK-Lamellen verstärkter Kragarm des Plattenbalkens

Verstärkung 7.1: Vorgespannte CFK-Lamellen im Zuge einer umfassenden Instandsetzung

Bauwerksdaten

1. Allgemeine Angaben

1.1 Einzel- und Gesamtstützweiten:	15 × 39 = 585	m
1.2 Zahl der Felder:	15	
1.3 Breite zwischen den Geländern:	30,5	m
1.4 Brückenfläche:	17.843	m ²
1.5 Bauwerkswinkel:	100	gon
1.6 Brückenklasse (vor der Verstärkung):	BK 60 (DIN 1072)	
1.7 Brückenklasse (nach der Verstärkung):	BK 60 (DIN 1072)	
1.8 Baujahr:	1967	
1.9 Baukosten insgesamt:	5.300.000 DM \approx 2.709.847	€
1.10 Baukosten bezogen auf Brückenfläche:	152	€/m ²

2. Angaben zur Konstruktion

2.1 Hauptbaustoff:	Spannbeton
2.2 Bauwerkssystem in Längsrichtung:	Mehrfeldträger mit Durchlaufwirkung
2.3 Bauwerkssystem in Querrichtung:	Zweistegiger Plattenbalken
2.4 System der Lagerung:	Gleitlager mit Topflager
2.5 Pfeiler / Stützen:	Betonpfeiler
2.6 Widerlager:	Trennpfeiler
2.7 Gründung:	Tiefgründung (Ramppfähle)
2.8 Belag, Oberflächen- und Korrosionsschutz:	Bitumendichtbahn, Gussasphalt

3. Baustoffe

3.1 Überbau:	Interne Längs- und Quervorspannung mit Spann Stahl System Dyckerhoff & Widmann St 80/105 ($f_{p0,2k} = 780 \text{ N/mm}^2$, $f_{pk} = 1030 \text{ N/mm}^2$)
3.2 Pfeiler / Stützen:	Stahlbeton
3.3 Widerlager:	Stahlbeton

4. Baugrund

Kies und bindiger Boden

5. Besondere, für das Verstärkungserfordernis bedeutsame Bauwerks- und Bauteilmerkmale

Das Teilbauwerk weist einen „Homborg“-Plattenbalkenquerschnitt mit großer Schlankheit auf. In den 1980er Jahren wurden die Stege durch Stahlrohre miteinander verbunden, um die für diesen Querschnitt typischen Trägerverdrehungen zu begrenzen. In diesem Zuge wurden die Neotopflager durch Elastormerlager ersetzt. In den Koppelfugen wurden jeweils alle 42 Spannglieder gekoppelt.

Angaben zur Art der Verstärkung

1.	Kurzbeschreibung:	Vorgespannte CFK-Lamellen
2.	Grund und Ursache bzw. Ziel der Verstärkung:	Risse in Koppelfugen
3.	Verstärkte Bauteile:	Koppelfugen
4.	Verstärkungsanwendung:	Lokal
5.	Kosten der Verstärkungsmaßnahme:	
	- insgesamt:	- €
	- bezogen auf die Brückenfläche:	- €/m ²
6.	Zeitraum der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme:	2003 - 2004
7.1	Nutzungseinschränkung während der Verstärkungsmaßnahme:	-
7.2	Nutzungseinschränkung nach der Verstärkungsmaßnahme:	Keine
8.	Voraussichtliche Nutzungsdauer:	Geplant: dauerhafte Verstärkung; das Bauwerk soll jedoch nach einer 2011 erstellten Machbarkeits- und Wirtschaftlichkeitsstudie durch einen Neubau ersetzt werden

Ursachen für den Verstärkungsbedarf

Der 1,3 km lange Brückenzug besteht aus vier Einzelbauwerken, die sich in Hinblick auf Bauart, Länge und Stützweiten unterscheiden. Jedes der vier Einzelbauwerke wies erhebliche bauart- und

altersbedingte Schäden und Mängel auf. Eine der Vorlandbrücken zeigte unter anderem Risse in allen Koppelfugen, die durch eine lokale Verstärkung beseitigt werden sollten.

Beschreibung der Verstärkung

In den Jahren 2003 – 2004 erfolgte wegen der erheblichen Mängel eine umfassende Instandsetzung u.a. mit Instandsetzung der Betonoberflächen, Verpressung aller Risse mit einer Breite > 0,2 mm, örtlicher Verstärkung der Querträger, Ertüchtigung der Querverbände, u.v.m.. Im Bereich der Koppelfugen fanden vorgespannte CFK-Lamellen vom Typ Sika-CarboDur V914 (Breite 90 mm, Dicke 1,4 mm) Verwendung (Bilder 2 und 3). Insgesamt mussten 14 Koppelfugen ertüchtigt werden, bei denen jeweils neun (insgesamt 252) vorgespannte CFK-Lamellen zum Einsatz

kamen. Es wurden jeweils sieben Lamellen an den Stegunterseiten und zwei Lamellen an den Stegseiten appliziert. Hierfür wurden spezielle Vorspannvorrichtungen, bestehend aus Temporär- und Permanentankern, eingesetzt (Bild 4). Nach Aufbringen der Vorspannkraft von 160 kN pro CFK-Lamelle wurden die Lamellen mittels Epoxidharzkleber am Überbau aufgeklebt und an den Lamellenenden durch die Permanentanker befestigt (Bilder 2 und 4). Die Durchführung der Verstärkungsmaßnahme erfolgte auf Grundlage einer Zustimmung im Einzelfall.

Folgerungen

Die Verstärkung der Koppelfugen mittels vorgespannter CFK-Lamellen war erfolgreich. Die Schwingbreite an den Spanngliedkopplungen konnte auf einen Wert reduziert werden, der im zulässigen Bereich liegt. Es ist jedoch festzuhalten, dass es sich bei dieser Verstärkungstechnik um ein sehr aufwendiges Verfahren handelt, insbesondere in Hinblick auf die Verankerung der Spannglieder am Überbau.

Im Jahre 2011 erfolgte eine Nachrechnung (gemäß Nachrechnungsrichtlinie) sowie eine

Machbarkeits- und Wirtschaftlichkeitsstudie für das gesamte Brückenbauwerk, da eine Fahrbahnerweiterung auf vier Spuren erfolgen sollte. Bei den Untersuchungen zeigten die anderen Teilbauwerke zahlreiche Defizite, so dass eine Ertüchtigung auf das Niveau des DIN-Fachberichts nur mit großem Aufwand möglich und somit wirtschaftlich nicht sinnvoll gewesen wäre.

Aus diesem Grund empfahl eine Realisierungsstudie aus dem Jahr 2011 die komplette Erneuerung des gesamten Brückenzuges.

Bilder und Bauwerksskizzen



Bild 1: Übersichtsfoto des Brückenbauwerks



Bild 2: Einbau der vorgespannten CFK-Lamellen



Bild 3: Lokale Verstärkung – vorgespannte CFK-Lamellen



Bild 4: Vorspannvorrichtung der vorgespannten CFK-Lamellen

Verstärkung 7.2: Aufgeklebte Stahllaschen mit Hinterschnittankern

Bauwerksdaten

1. Allgemeine Angaben

1.1 Einzel- und Gesamtstützweiten:	27 + 32 + 32 + 32 + 27 = 150	m
1.2 Zahl der Felder:	5	
1.3 Breite zwischen den Geländern:	17,2	m
1.4 Brückenfläche:	2.580	m ²
1.5 Bauwerkswinkel:	100	gon
1.6 Brückenklasse (vor der Verstärkung):	BK 30/30 (DIN 1072)	
1.7 Brückenklasse (nach der Verstärkung):	BK 30/30 (DIN 1072)	
1.8 Baujahr:	1961	
1.9 Baukosten insgesamt:	816.533	€
1.10 Baukosten bezogen auf Brückenfläche:	316	€/m ²

2. Angaben zur Konstruktion

2.1 Hauptbaustoff:	Spannbeton / Stahlbeton
2.2 Bauwerkssystem in Längsrichtung:	Mehrfeldträger mit Durchlaufwirkung
2.3 Bauwerkssystem in Querrichtung:	Plattenbalken / Trägerrost (mit Querverteilung)
2.4 System der Lagerung:	Widerlager: querfest; Pfeiler: schwimmend
2.5 Pfeiler / Stützen:	4 Pfeilerreihen mit je 2 Einzelstützungen
2.6 Widerlager:	Kastenförmig
2.7 Gründung:	Tiefgründung: Widerlager Ost Flachgründung: Widerlager West, alle Pfeiler
2.8 Belag, Oberflächen- und Korrosionsschutz:	Bituminöser Fahrbelag mit Dichtungsschicht auf ca. 15 cm PCC, OSC

3. Baustoffe

3.1 Überbau:	B 450 (entspricht C30/37); Betonstahl BSt II ($f_{yk} = 340 \text{ N/mm}^2$); Spannstahl: beschränkte Vorspannung, Sigma St 135/150 ($f_{p0,2k} = 1320 \text{ N/mm}^2$, $f_{pk} = 1470 \text{ N/mm}^2$)
3.2 Pfeiler / Stützen:	B 300 (entspricht C20/25)
3.3 Widerlager:	B 225 (entspricht C12/15)

4. Baugrund

Flachgründung im gemischtkörnigen Boden (SU)

5. Besondere, für das Verstärkungserfordernis bedeutsame Bauwerks- und Bauteilmerkmale

Eine Rissentstehung war bereits im Neubau zu beobachten. Diese Risse wurden bei Bauwerksabnahme dokumentiert.

Angaben zur Art der Verstärkung

- | | | |
|-----|--|---|
| 1. | Kurzbeschreibung: | Gewährleistung der Dauerhaftigkeit durch aufgeklebte Stahllaschen mit Hinterschnittankern |
| 2. | Grund und Ursache bzw. Ziel der Verstärkung: | Gewährleistung der Dauerhaftigkeit |
| 3. | Verstärkte Bauteile: | Hauptträger des Überbaus (Unterseite) |
| 4. | Verstärkungsanwendung: | Lokal (zwischen Pfeilerachse 3 und 4) |
| 5. | Kosten der Verstärkungsmaßnahme: | |
| | - insgesamt: | 10.256 € |
| | - bezogen auf die Brückenfläche: | 4 €/m ² |
| 6. | Zeitraum der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme: | 1998 (5 Monate) |
| 7.1 | Nutzungseinschränkung während der Verstärkungsmaßnahme: | Vollsperrung der Richtungsfahrbahn über zu verstärkendem Hauptträger |
| 7.2 | Nutzungseinschränkung nach der Verstärkungsmaßnahme: | - |
| 8. | Voraussichtliche Nutzungsdauer: | Dauerhafte Verstärkung |

Ursachen für den Verstärkungsbedarf

Bei dem Brückenbauwerk wurden sechs Spannglieder nahe der Betonunterkante endverankert. Aufgrund des Hebelarmes dieser Spannglieder wurde an dieser Stelle die zulässige Betondruckspannung für B 450 (entspricht: C30/37) deutlich überschritten.

Ebenso konnte die Schwingbreite in den unteren Spanngliedlagen, bei möglicher Korrosion der schlaffen Bewehrung, nicht mehr eingehalten werden.

Beschreibung der Verstärkung

Die Verstärkung mittels aufgeklebter Stahllaschen erfolgte gemäß den Konstruktionsregeln entsprechend der Zulassung Nr. Z-36.1-6 des DIBt.

Folgerungen

Mit Einbeziehung der dargelegten Einschätzungen zum Erfolg der Spanngliedsanierungen und sonstigen Sanierungsmaßnahmen wurde davon ausgegangen, dass die Spannstähle mindestens eine Millionen Lastwechsel ertragen können.

In den Jahren 2001 – 2004 wurden die Rissbreiten kontrolliert. Seit 2001 findet eine

jährliche Prüfung der Risse und der Verankerung der Laschen statt.

Im Beobachtungszeitraum wurden keine Änderungen der Rissweiten festgestellt.

Durch die Verstärkung wurde eine Restnutzungsdauer bis in das Jahr 2025 erreicht.

Bilder und Bauwerksskizzen

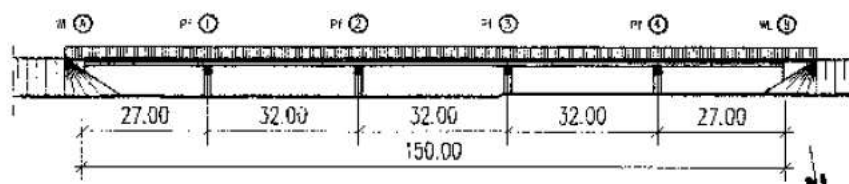


Bild 1: Übersichtsfoto des Brückenbauwerks

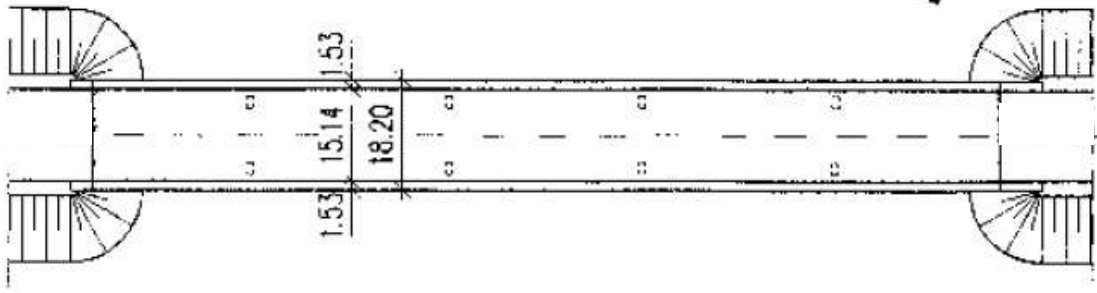


Bild 2: Draufsicht

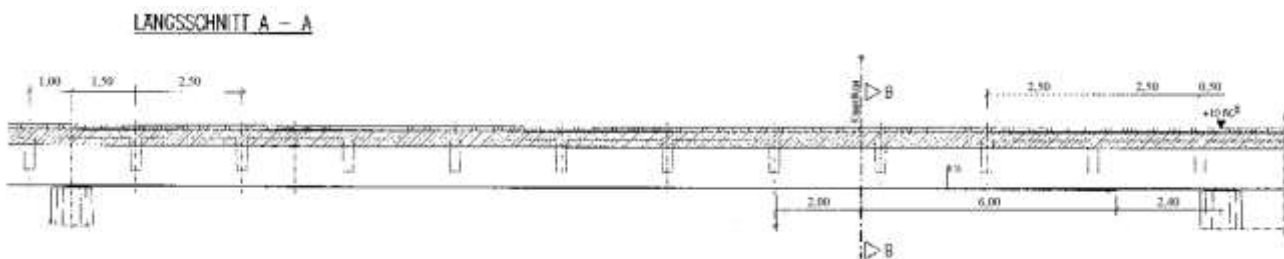


Bild 3: Längsschnitt

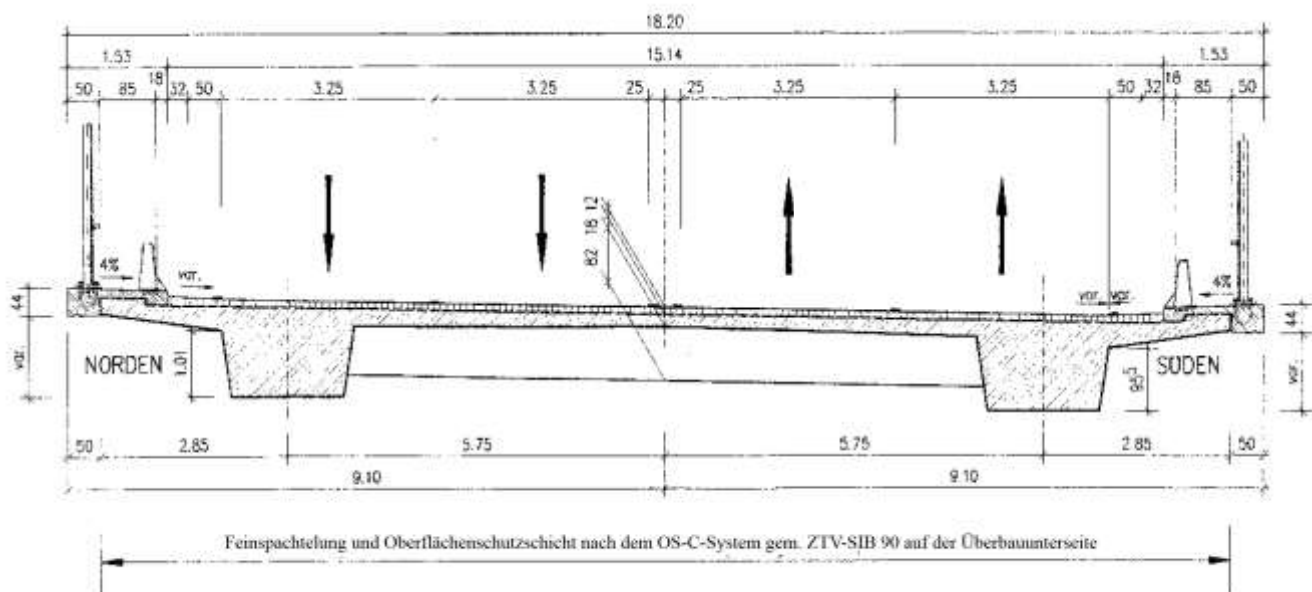


Bild 4: Regelquerschnitt

Verstärkungstechnik:	7. Sonderlösungen	Lfd. Nr.:	7.3	Blatt:	1
Verstärkung 7.3:		Querschnittsergänzung durch Spritzbeton mit zusätzlicher Betonstahlbewehrung			
<hr/>					
Bauwerksdaten					
<hr/>					
1. Allgemeine Angaben					
1.1 Einzel- und Gesamtstützweiten:	16,30 + 21,20 + 21,20 + 16,30 = 75,00	m			
1.2 Zahl der Felder:	4				
1.3 Breite zwischen den Geländern:	10,1	m			
1.4 Brückenfläche:	758	m ²			
1.5 Bauwerkswinkel:	100	gon			
1.6 Brückenklasse (vor der Verstärkung):	BK 60 (DIN 1072)				
1.7 Brückenklasse (nach der Verstärkung):	BK 60 (DIN 1072)				
1.8 Baujahr:	1958				
1.9 Baukosten insgesamt:	399.094 DM \approx 204.054	€			
1.10 Baukosten bezogen auf Brückenfläche:	269	€/m ²			
2. Angaben zur Konstruktion					
2.1 Hauptbaustoff:	Stahlbeton				
2.2 Bauwerkssystem in Längsrichtung:	Vierfeldträger mit Durchlaufwirkung, leicht gekrümmt				
2.3 Bauwerkssystem in Querrichtung:	4-stegiger Plattenbalken / Trägerrost mit Querverteilung, Querträger in den Feldern und über den Stützen				
2.4 System der Lagerung:	Festlager an Widerlager 1, Rollenlager ohne besondere Kippvorrichtung an Pfeilern und Widerlager 2				
2.5 Pfeiler / Stützen:	Massivbauweise				
2.6 Widerlager:	Massivwand				
2.7 Gründung:	Flachgründung				
2.8 Belag, Oberflächen- und Korrosionsschutz:	Seit 1987: Abdichtung, 3,5 cm Gussasphalt, 8,0 cm Binder, 4,0 cm Splittmastix				
3. Baustoffe					
3.1 Überbau:	B 300 (entspricht C20/25); Betonstahl BSt II ($f_{yk} = 340 \text{ N/mm}^2$)				
3.2 Pfeiler / Stützen:	Mauerwerk; Auflagerbänke: B 225 (entspricht C12/15); Betonstahl BSt II ($f_{yk} = 340 \text{ N/mm}^2$)				
3.3 Widerlager:	B 225 (entspricht C12/15); Betonstahl BSt II ($f_{yk} = 340 \text{ N/mm}^2$); Verblendung mit Natursteinen				
4. Baugrund					
	Fels (dolomitischer, klüftiger Weißjurakalk (Pseudomukabilis))				
Bund/Länder Dienstbesprechung Brücken- und Ingenieurbau			Erfahrungssammlung „Verstärkung von Betonbrücken“		227

5. Besondere, für das Verstärkungserfordernis bedeutsame Bauwerks- und Bauteilmerkmale

Eine Nachrechnung ergab, dass die Bügelbewehrung zur Aufnahme von Querkraft und Torsion im Bereich der Vouten und die Querbewehrung der Rand-Längsträger im Auflagerbereich im Bereich der Überlappungsstöße nicht ausreichend für die Aufnahme der Querkraftkräfte dimensioniert war.

Angaben zur Art der Verstärkung

- | | | |
|-----|--|---|
| 1. | Kurzbeschreibung: | Ergänzung von Bügelbewehrung Ø16/25 in verankerter Spritzbetonschale mit einer Dicke von 8 cm |
| 2. | Grund und Ursache bzw. Ziel der Verstärkung: | Schadensbeseitigung, Beseitigung Tragfähigkeitsdefizit |
| 3. | Verstärkte Bauteile: | Rand-Längsträger des Überbaus im Bereich der Vouten im Auflagerbereich |
| 4. | Verstärkungsanwendung: | Lokal |
| 5. | Kosten der Verstärkungsmaßnahme: | |
| | - insgesamt: | 251.039 € |
| | - bezogen auf die Brückenfläche: | 331 €/m ² |
| 6. | Zeitraum der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme: | 2007 (2,5 Monate) |
| 7.1 | Nutzungseinschränkung während der Verstärkungsmaßnahme: | Vollsperrung der Brücke |
| 7.2 | Nutzungseinschränkung nach der Verstärkungsmaßnahme: | Keine |
| 8. | Voraussichtliche Nutzungsdauer: | Dauerhaft |

Ursachen für den Verstärkungsbedarf

Die Bügelbewehrung zur Aufnahme der Querkraft und Torsion im Bereich der Vouten war nicht ausreichend. Zudem war die Querbewehrung im Bereich der Überlappungsstöße der Längsbewehrung nicht ausreichend für die Aufnahme der Querkraftkräfte dimensioniert und die Betonüberdeckung war zu gering. Dies führte zum Ausweichen der Längsbewehrung und einer Absprengung der Betonschale. Im Bereich der Betonabplatzungen (Bild 1) führte dies zudem zu

einer ausgeprägten Korrosion der Querkraft- und Längsbewehrung insbesondere im Bereich der witterungsungeschützten Randträger (Bild 2). Die Schäden wurden bereits ab 2001 festgestellt. Nach einer erheblichen Erweiterung der Schäden in 2005 wurde in 2006 eine objekt-spezifische Schadensanalyse (OSA) durchgeführt und die Brücke dann schließlich 2007 verstärkt.

Beschreibung der Verstärkung

Zur Vorbereitung der Verstärkung wurden zunächst schadhafte Betonbereiche entfernt und die Oberfläche vorbehandelt (Bild 3). Nach der Ortung der vorhandenen Bewehrung wurden zur Verankerung der zusätzlichen Bewehrung die Bügelschenkel sowie zusätzliche Bewehrungsstäbe beidseitig eingebohrt und abgebogen (Bilder 4 und 5). Nach dem Spritzbetonauftrag

wurde die Oberfläche nachbehandelt (Bild 6). Die Brücke vor und nach Fertigstellung der Verstärkung zeigt Bild 7. Zusätzlich wurde im Rahmen der Verstärkungsarbeiten eine Betonsanierung der gesamten Überbauuntersicht durchgeführt und eine Beschichtung (OS-C) aufgebracht.

Folgerungen

Die Tatsache, dass dieses Verstärkungsbeispiel das einzige Beispiel einer Verstärkung mittels Ortbetonergänzung mit zusätzlicher Betonstahlbewehrung darstellt, zeigt, dass dieses Verstärkungsverfahren nur selten angewendet wird. Allerdings zeigt das Beispiel auch, dass

das Verfahren bei entsprechendem Schadensbild (Betonabplatzungen, unzureichende Bewehrung) effektiv angewendet werden kann. Die vorliegende Verstärkungsmaßnahme wurde in einem Zeitraum von nur 6 Wochen erfolgreich realisiert.

Bilder und Bauwerksskizzen

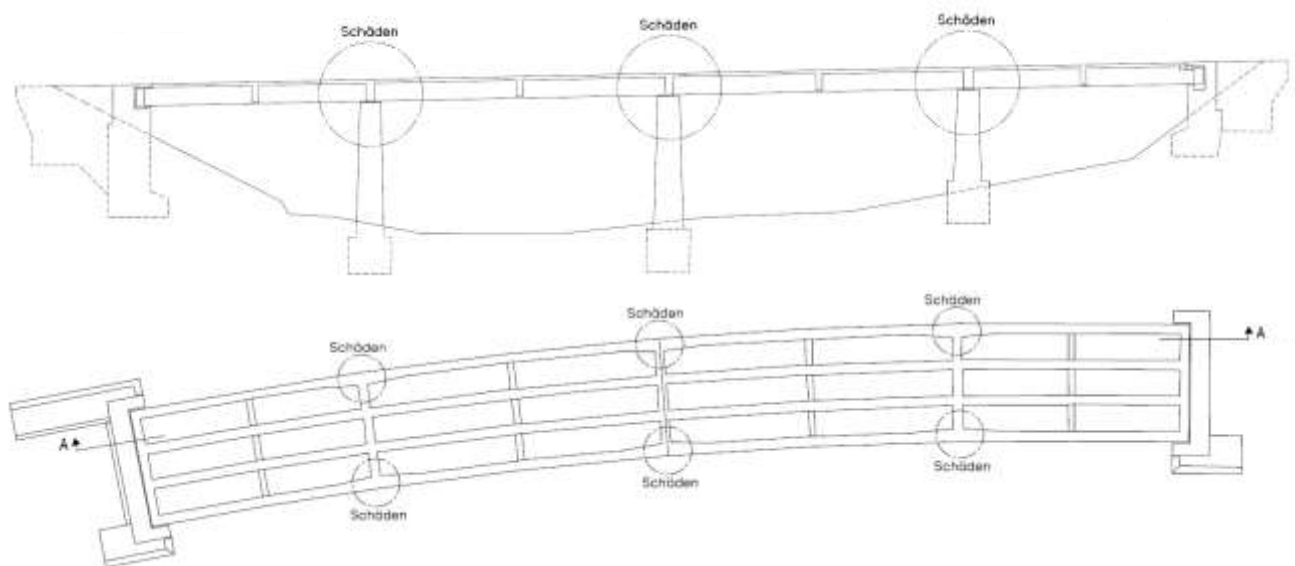


Bild 1: Längsschnitt und Draufsicht der Brücke mit Angabe der schadhafte Bereiche



Bild 2: Schadensbild: Betonabplatzungen und Korrosion der Bewehrung



Bild 3: Vorbereitung der Betonoberfläche

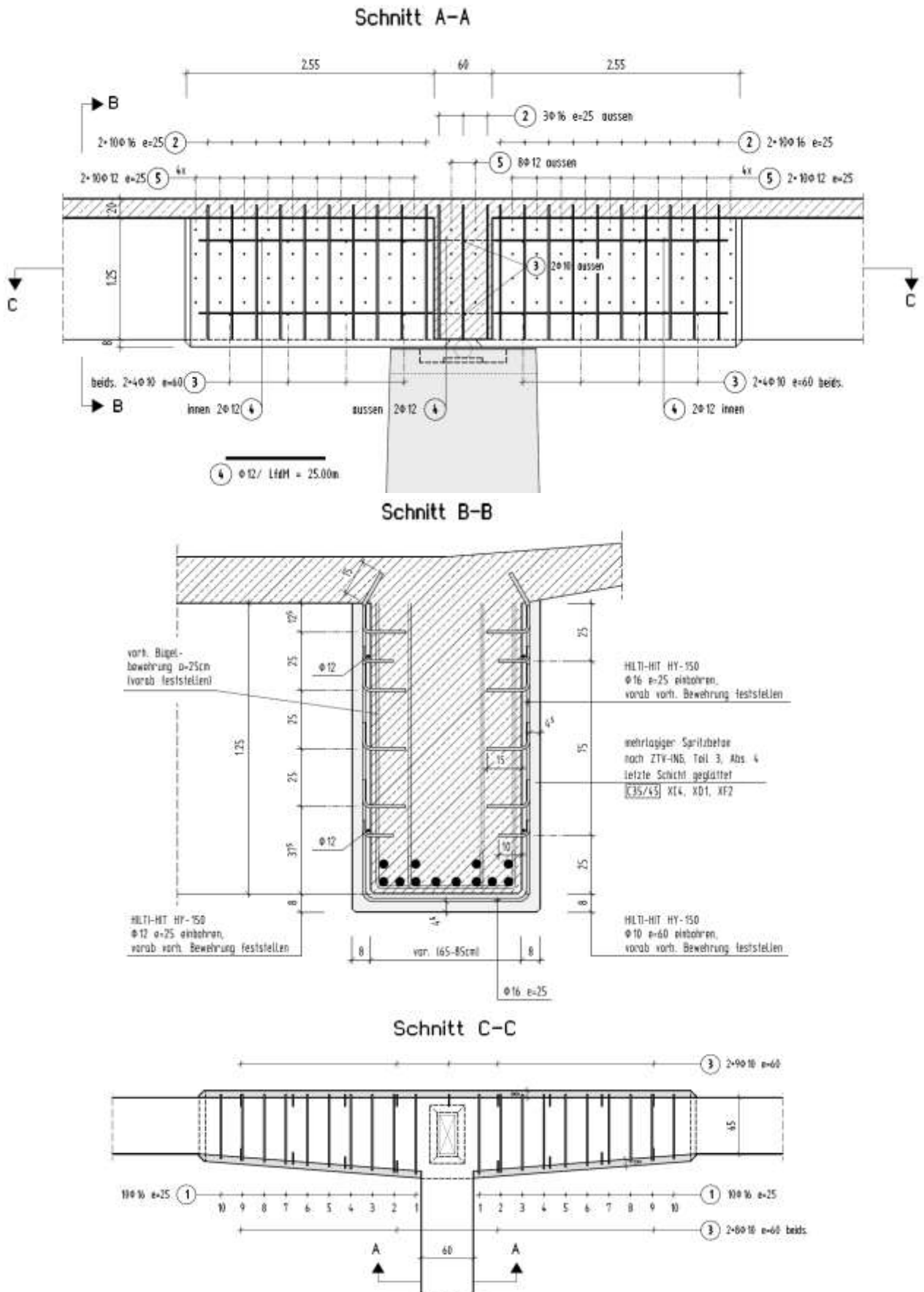


Bild 4: Entwurfsplanung Verstärkung der Längsträger im Stützenbereich



Bild 5: Anschluss der Bewehrung (Ausführung)



Bild 6: Ansicht Spritzbetonoberfläche nach Spritzvorgang und nach Fertigstellung



Bild 7: Brücke vor und nach der Verstärkung

Verstärkung 7.4: Querschnittsergänzung mit Beton und zusätzlicher Betonstahlbewehrung: Bewehrungszulage in anbetonierten Stahlbetonbalken zur Verbesserung des Ankündigungsverhaltens bezüglich Spannungsrisskorrosion

Bauwerksdaten

1. Allgemeine Angaben

1.1 Einzel- und Gesamtstützweiten:	$34,0 + 43,0 + 45,0 + 43,0 + 31,0 = 196$	m
1.2 Zahl der Felder:	5	
1.3 Breite zwischen den Geländern:	$2 \times 15,58 = 31,16$	m
1.4 Brückenfläche:	$2 \times 3054 = 6108$	m ²
1.5 Bauwerkswinkel:	100	gon
1.6 Brückenklasse (vor der Verstärkung):	BK 60 (DIN 1072)	
1.7 Brückenklasse (nach der Verstärkung):	LM1 (DIN Fachbericht 101)	
1.8 Baujahr:	1971	
1.9 Baukosten insgesamt:	2,7 Mio DM \cong 1,38 Mio	€
1.10 Baukosten bezogen auf Brückenfläche:	226	€/m ²

2. Angaben zur Konstruktion

2.1 Hauptbaustoff:	Spannbeton
2.2 Bauwerkssystem in Längsrichtung:	Mehrfeldträger mit Durchlaufwirkung
2.3 Bauwerkssystem in Querrichtung:	Hohlkasten
2.4 System der Lagerung:	Elastomerlager
2.5 Pfeiler / Stützen:	Hohlquerschnitt mit Pfeilerkopf als Vollquerschnitt
2.6 Widerlager:	Vollquerschnitt
2.7 Gründung:	Flachgründung
2.8 Belag, Oberflächen- und Korrosionsschutz:	Gussasphalt, bituminöse Dichtungsbahn

3. Baustoffe

3.1 Überbau:	B 450 (entspricht C 30/37); Betonstahl BSt IIIb ($f_{yk} = 400$ N/mm ²); Spannstahl längs in Hohlkastenstegen und quer in Fahrbahnplatte: St 145/160 ($f_{p0,2k} = 1420$ N/mm ² , $f_{pk} = 1570$ N/mm ²)
3.2 Pfeiler / Stützen:	B 450 (entspricht C 30/37); Betonstahl BSt IIIb ($f_{yk} = 400$ N/mm ²) und BSt Ib ($f_{yk} = 220$ N/mm ²); Pfeilerkopf: B 450 (entspricht C 30/37); Betonstahl BSt IIIb ($f_{yk} = 400$ N/mm ²)

3.3 Widerlager: B 300 (entspricht C 20/25); Betonstahl BSt IIIb ($f_{yk} = 400 \text{ N/mm}^2$); Auflagerbank: B 450 (entspricht C 30/37); Betonstahl BSt IIIb ($f_{yk} = 400 \text{ N/mm}^2$) und BSt Ib ($f_{yk} = 220 \text{ N/mm}^2$)

4. Baugrund In Höhe der Gründungssohle Grauwacke und Sandstein.

5. Besondere, für das Verstärkungserfordernis bedeutsame Bauwerks- und Bauteilmerkmale

Die verwendeten Spannglieder bestehen aus spannungsrissskorrosionsgefährdetem Spannstahl.

Angaben zur Art der Verstärkung

- | | |
|--|--|
| 1. Kurzbeschreibung: | Einbau eines Stahlbetonbalkens mit zusätzlicher schlaffer Bewehrung (zusätzliche Maßnahme: Einbau zusätzlicher externer Vorspannung) |
| 2. Grund und Ursache bzw. Ziel der Verstärkung: | Fehlendes Ankündigungsverhalten bezüglich Spannungsrissskorrosion |
| 3. Verstärkte Bauteile: | Hohlkastenstege in den Endfeldern |
| 4. Verstärkungsanwendung: | Lokal |
| 5. Kosten der Verstärkungsmaßnahme: | |
| - insgesamt: | 31.000 € (ohne zusätzliche Vorspannung) |
| - bezogen auf die Brückenfläche: | 5 €/m ² (ohne zusätzliche Vorspannung) |
| 6. Zeitraum der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme: | Dauer: 4 Monate (2013; Dauer für gesamte Verstärkung inkl. Einbau der zusätzlichen Vorspannung) |
| 7.1 Nutzungseinschränkung während der Verstärkungsmaßnahme: | Keine |
| 7.2 Nutzungseinschränkung nach der Verstärkungsmaßnahme: | Keine |
| 8. Voraussichtliche Nutzungsdauer: | Dauerhaft |
| 9. Erfolg der Verstärkung: | Ja |

Ursachen für den Verstärkungsbedarf

Der in dieser Brücke verwendete ovale SIGMA-Spannstahl St 145/160 der Hütten- und Bergwerke Rheinhausen AG ist nach der „Handlungsanweisung Spannungsrissskorrosion“ des Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) besonders gefährdet für Spannungsrissskorrosion. Das Versagensbild zeichnet sich dabei durch einen plötzlichen und verformungsarmen Bruch der beanspruchten Stähle aus, ohne dass sichtbare Korrosions-

schäden auftreten. Somit können Brücken, in denen der gefährdete Spannstahl eingebaut wurde, aufgrund des fehlenden Ankündigungsverhaltens ein Risiko bergen, dass es zu einem spröden Spannstahlbruch kommt. Zur Beurteilung und Minimierung dieses Risikos und zur Vermeidung des spröden Bruchs sind daher ein rechnerischer Nachweis und ggfs. Verstärkungsmaßnahmen notwendig.

Beschreibung der Verstärkung

Die Verstärkung der Brücke erfolgte durch den Einbau von zusätzlichen Stahlbetonbalken mit schlaffer Bewehrung in den unteren Ecken der Hohlkästen in den Endfeldern (Bilder 1 bis 4). Die zusätzlichen Balken wurden mit Verbundankern schubfest an das bestehende Bauwerk angeschlossen. Dazu musste vor Herstellung der Bohrungen für die Verbundanker zunächst die vorhandene Spanngliedlage und Stegbewehrung geortet werden. Um eine Trennung der Bewehrung und eine Beschädigung der vorhandenen Spannglieder in den Stegen ausschließen zu können, wurden zunächst

Schlitze mit Hochdruckwasserstrahlen senkrecht zum Verlauf der Spannglieder hergestellt. Weiterhin war es erforderlich, die Fugen zwischen Bestandsüberbau und Stegverstärkung verzahnt auszubilden (Bild 3). Abschließend wurden vor der Betonage alle mit der Verstärkung in Berührung kommenden Betonoberflächen angefeuchtet.

Zusätzlich zu den Stahlbetonbalken erhielt die Brücke eine zusätzliche externe Vorspannung. Diese wird hier jedoch nicht näher erläutert. Die Erhöhung des Lastmodells wird in erster Linie auf die zusätzliche Vorspannung zurückgeführt.

Folgerungen

Durch die Vergrößerung der Biegezugbewehrung in den Endfeldern lässt sich das Ankündigungsverhalten nachweisen. Nach der „Handlungsanweisung Spannungsrisskorrosion“ ist eine ausreichende Vorankündigung gegeben, wenn beim Spanngliedausfall unter Anrechnung

der Traganteile aus der Restspannstahlfläche und der im Querschnitt vorhandenen Betonstahlbewehrung im Nachweis der Restsicherheit ein erforderliches Sicherheitsniveau nicht unterschritten wird. Dies konnte durch die vorgestellte Verstärkung erreicht werden.

Bilder und Bauwerksskizzen

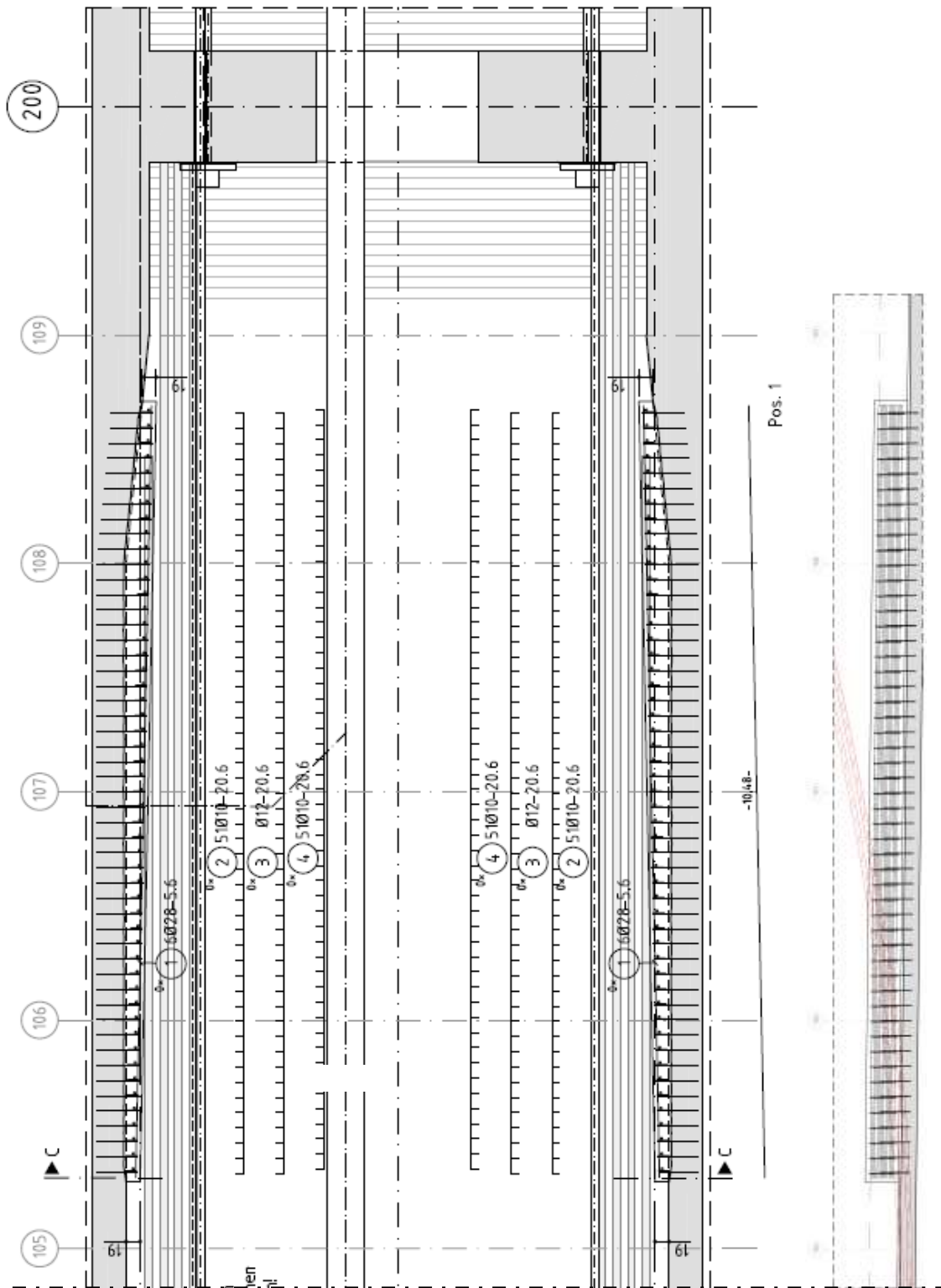


Bild 1: Grundriss und Längsschnitt

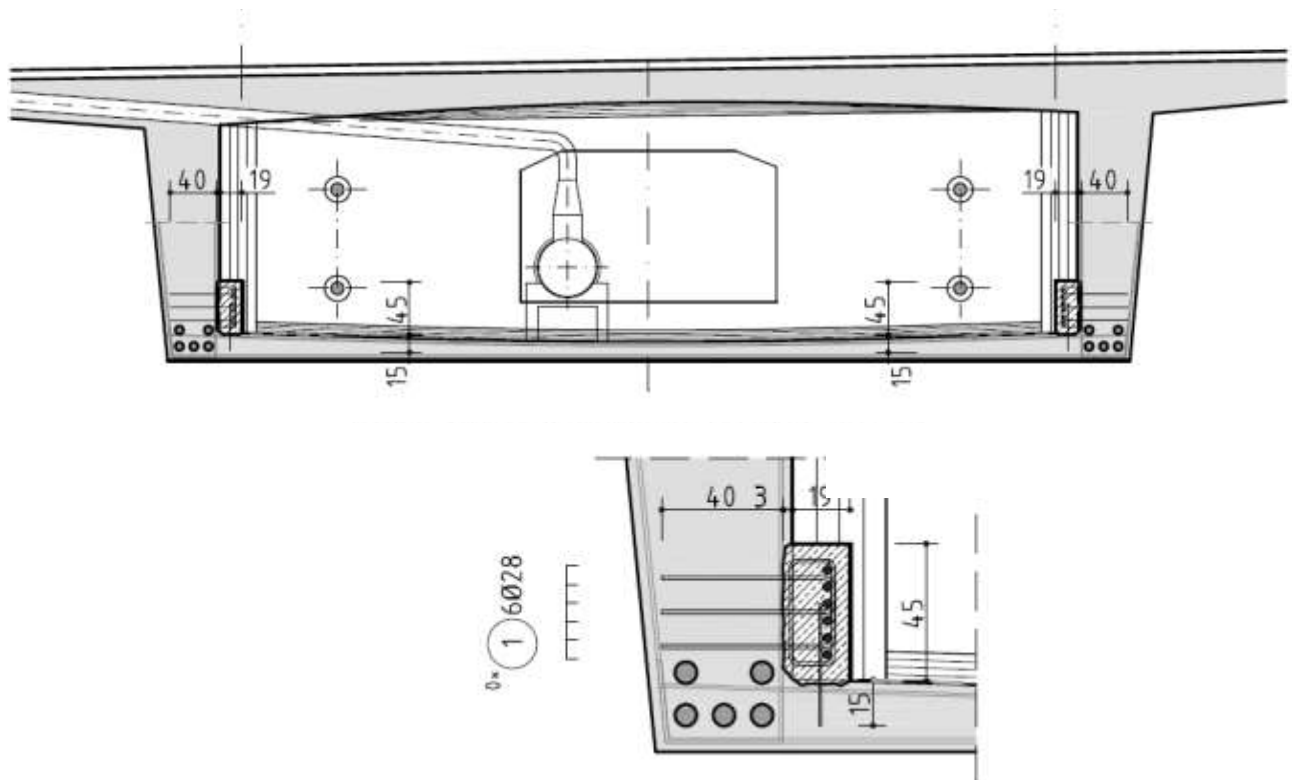


Bild 2: Querschnitt, Detail Querschnitt (Schnitt C-C)



Bild 3: Vorbehandelte Oberfläche, Schalung und Bewehrung des zusätzlich anbetonierten Stahlbetonbalkens



Bild 4: Zusätzlich anbetonierter Stahlbetonbalken

Verstärkung 7.5:**Anordnung von Stahlträgern unter dem Überbau****Bauwerksdaten****1. Allgemeine Angaben**

1.1 Einzel- und Gesamtstützweiten:	8,5	m
1.2 Zahl der Felder:	1	
1.3 Breite zwischen den Geländern:	24	m
1.4 Brückenfläche:	204	m ²
1.5 Bauwerkswinkel:	100	gon
1.6 Brückenklasse (vor der Verstärkung):	BK 30/30 (DIN 1072)	
1.7 Brückenklasse (nach der Verstärkung):	BK 60/30 (DIN 1072)	
1.8 Baujahr:	1938	
1.9 Baukosten insgesamt:	-	€
1.10 Baukosten bezogen auf Brückenfläche:	-	€/m ²

2. Angaben zur Konstruktion

2.1 Hauptbaustoff:	Stahlbeton
2.2 Bauwerkssystem in Längsrichtung:	Einfeldplatte
2.3 Bauwerkssystem in Querrichtung:	Stahlbetonplatte
2.4 System der Lagerung:	Betongelenke
2.5 Pfeiler / Stützen:	-
2.6 Widerlager:	Massiv mit Vormauerung
2.7 Gründung:	Flachgründung
2.8 Belag, Oberflächen- und Korrosionsschutz:	Asphaltdecke, kein Oberflächenschutz

3. Baustoffe

3.1 Überbau:	Stahlbeton B 35 (entspricht C25/30); Betonstahl: Stahlgüte wird vermutet zu B 220 ($f_{yk} = 220 \text{ N/mm}^2$)
3.2 Pfeiler / Stützen:	-
3.3 Widerlager:	Unbewehrter Beton mit Vormauerung

4. Baugrund

-

5. Besondere, für das Verstärkungserfordernis bedeutsame Bauwerks- und Bauteilmerkmale

Keine besonderen Merkmale.

Angaben zur Art der Verstärkung

1.	Kurzbeschreibung:	Anordnung von Stahlträgern unter dem Überbau
2.	Grund und Ursache bzw. Ziel der Verstärkung:	Traglasterhöhung durch Aufnahme von Eigen- und Verkehrslasten durch die Stahlträger
3.	Verstärkte Bauteile:	Überbau
4.	Verstärkungsanwendung:	Global, beide Teilbauwerke
5.	Kosten der Verstärkungsmaßnahme:	
	- insgesamt:	150.000 €
	- bezogen auf die Brückenfläche:	735 €/m ²
6.	Zeitraum der Durchführung der Verstärkungsmaßnahme:	2009 (2 Monate)
7.1	Nutzungseinschränkung während der Verstärkungsmaßnahme:	Unterführung wurde für die Bauzeit gesperrt.
7.2	Nutzungseinschränkung nach der Verstärkungsmaßnahme:	Reduzierung der lichten Durchfahrtshöhe / -breite
8.	Voraussichtliche Nutzungsdauer:	Temporär (ca. 10 Jahre)

Ursachen für den Verstärkungsbedarf

Bei einer Bauwerksprüfung wurden an der Tragkonstruktion Längsrisse mit Breiten von bis zu 1,4 mm sowie freiliegende Bewehrung mit

Querschnittsminderung bis 2 mm, Durchfeuchtungen, Abplatzungen und eine Karbonatisierungstiefe bis 30 mm festgestellt.

Beschreibung der Verstärkung

Im Abstand von 50 cm wurden Träger unter dem Überbau angeordnet. Diese Träger sind auf einem System von Auflager-, Stützen- und Fundamentträgern gelagert. Die Verbindung zwischen dem Brückenüberbau und den Stahlträgern erfolgt mit Elastomerplatten.

Mittels Pressen wurden die Stahlträger an den Widerlagern angehoben und dadurch eine genau definierte Kraft in den Brückenüberbau eingeleitet.

Abschließend erfolgte eine Fixierung mittels Stellschrauben.

Folgerungen

Ein Teil der Eigenlast und die Verkehrslast können durch Einleitung einer durch Berechnung bestimmten Kraft (aufgrund Vorbiegen / Vorspannen der Verstärkungsträger) durch die Verstärkungsstruktur abgeleitet werden.

Aufgrund der sehr unterschiedlichen Steifigkeiten der vorhandenen Überbauplatte (steif) und der Überbauverstärkungsträger (weich) ist der Verstärkungseffekt jedoch begrenzt.

Bilder und Bauwerksskizzen



Bild 1: Übersichtsfoto des Bauwerks

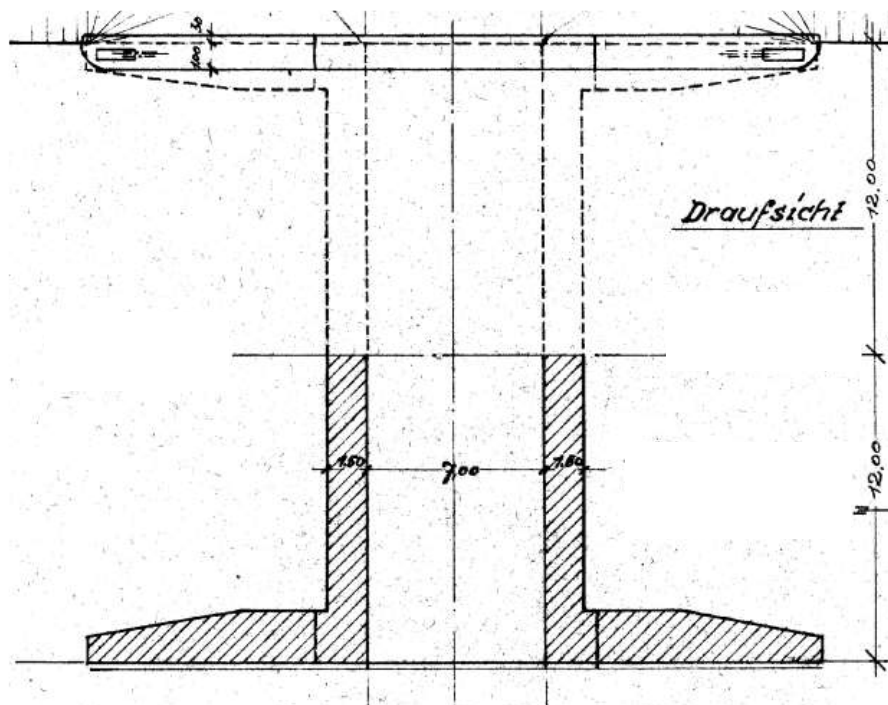


Bild 2: Draufsicht

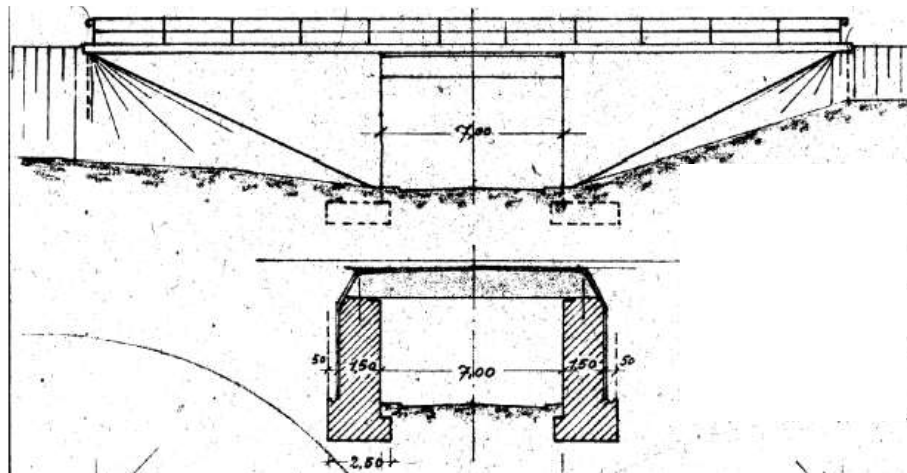


Bild 3: Ansicht / Querschnitt vor der Verstärkung,

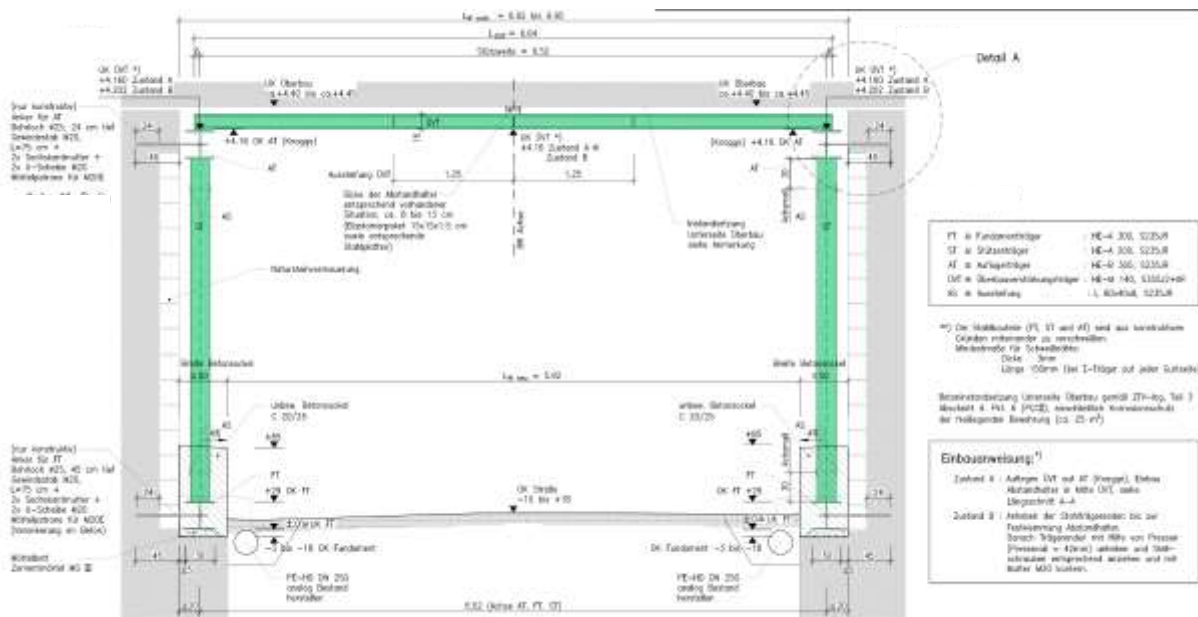


Bild 4: Längsschnitt Verstärkung

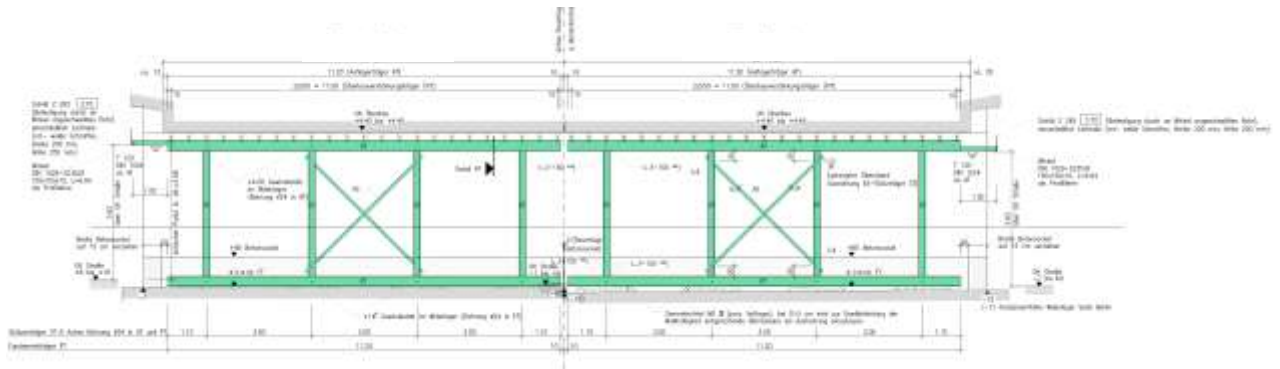


Bild 5: Schnitt B-B

Detail A Darstellung Zustand

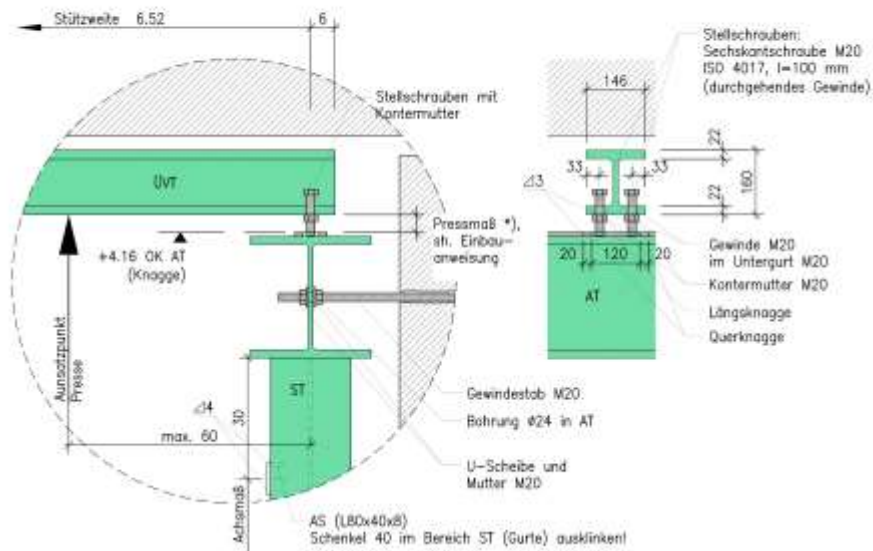


Bild 6: Detail A

Impressum

Auftraggeber

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
Abteilung Straßenbau

vertreten durch

Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)
Brüderstraße 53
51427 Bergisch Gladbach

Erstellt von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martina Schnellenbach-Held
Dr.-Ing. Torsten Welsch
Dipl.-Ing. Silvia Fickler

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Josef Hegger
Dipl.-Ing. Karin Reißer

Bildnachweis

Straßenbauverwaltungen der Länder

Satz und Gestaltung/Druck

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
Referat Z 32, Druckvorstufe/Hausdruckerei

Titelfotos

links oben und unten = © René Legrand, Rhün
rechts oben = © Dieter von Weschpfennig, Bergisch Gladbach
rechts unten = © Reinhard Wege, Bad Gandersheim

Stand

Januar 2016

