

# DIPLOMARBEIT

## Master Thesis

### **Erhaltung und Sanierung von Stahlbetonbrücken in Bulgarien**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades  
eines Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Dr.h.c. Hans Georg Jodl

und als verantwortlich mitwirkend

Univ.Ass. Dipl.-Ing. Christoph Winkler

E234-1

Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement  
Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik

eingereicht an der Technischen Universität Wien  
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Ivo Kutev

1029224

Drin Str. 45, Varna 9000, Bulgarien

Wien, im Oktober 2013

# Danksagung

Mein Dank gilt vor allem meinem betreuenden Professor Dipl.-Ing. Dr.techn. Dr.h.c. Hans Georg Jodl, der durch seine praxisbezogenen Vorlesungen mein Interesse für den Baubetrieb geweckt hat. Durch seine positive und freundliche Einstellung gegenüber allen Studenten hat er den Studienalltag aufgelockert.

Ganz besonders danke ich meinem Betreuer Univ.Ass. Dipl.-Ing. Christoph Winkler, der dieses Diplomarbeitsthema formuliert hat. Er hat sich immer Zeit für mich genommen und hat mir bei jeder Besprechung mit geeigneten Ratschlägen geholfen. Außerdem hat er jederzeit für Fragen bezüglich Ausdrucksweise und Struktur zur Verfügung gestanden.

Ich bedanke mich ganz herzlich bei Professor Dipl.-Ing. Dr.techn. Dimitar Dimov und bei Professor Dipl.-Ing. Dr.techn. Kostadin Topurov, die mir viele Materialien zu meinem Diplomarbeitsthema zur Verfügung gestellt haben und trotz ihres vollen Terminkalenders immer hilfsbereit waren.

Ich danke meinen Freunden und Kollegen, die mich während des Studiums unterstützt haben.

Diese Arbeit widme ich meinen Eltern Bozhidar und Eleonora, die mir das Studium ermöglicht haben und mich bei jeder Entscheidung oder bei jeder Schwierigkeit bestmöglich unterstützt haben.

Danke!

# Kurzfassung

Der Zustand der Infrastruktur hängt von zahlreichen Faktoren ab. Zu einem Großteil hängt dieser von der finanziellen Lage des jeweiligen Staates ab. Der derzeitige Brückenzustand in Bulgarien ist auf einem niedrigen Niveau und wird daher im Hinblick auf die europäische Entwicklung verstärkt in den Fokus genommen. Zustandserfassung, Erhaltung, Sanierung und Verstärkung der Konstruktion sind wesentliche Komponenten eines ganzheitlichen Brückenmanagements. Während es in vielen Ländern gängige Praxis ist, wäre die Einführung eines Systems für Brückeninstandhaltung (Brückenmanagement) in Bulgarien wünschenswert. In dieser Diplomarbeit werden Straßenbrücken aus Stahlbeton bzw. Spannbeton betrachtet. Diese stellen die Mehrheit aller Brückenbauwerke in Bulgarien dar. Welche Schäden und Schadensursachen sind bei Stahlbetonbrücken typisch? Wie wird die Zustandserfassung und Erhaltung der Brücken in Bulgarien durchgeführt? Welche Sanierungs- und Verstärkungsmethoden kommen zum Einsatz? Im Rahmen der Diplomarbeit werden all diese Fragen behandelt. Die Arbeit beschreibt unter anderem die Vorgehensweise bei Bestandsaufnahmen, erläutert die Durchführung von Sanierungsprojekten und weist auf die Bedeutung bzw. die Wichtigkeit eines Brückenmanagements hin.

# Abstract

The condition of the infrastructure depends on many factors. To a large extent this depends on the financial situation of each country. The current bridge condition in Bulgaria is at a low level and is more focused with regard to the European development. Assessment, maintenance, repair and enhancement of the construction are essential components of the bridge management. While it is a common practice in many countries, the introduction of a system for bridge management would be desirable in Bulgaria. In this master thesis, road bridges in concrete and prestressed concrete are considered. They represent the majority of all bridge constructions in Bulgaria. What damages and causes of damages are typical? How is the inspection and maintenance of bridges in Bulgaria carried out? Which repair and enhancement methods are used? As part of the master thesis all these issues are dealt with. The paper describes, inter alia, the procedure of inspection, explains the implementation of repair projects and points to the significance and importance of the bridge management.

# Inhaltsverzeichnis

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b> .....   | <b>7</b>  |
| 1.1      | Zielsetzung und Forschungsfrage .....                             | 8         |
| 1.2      | Aufbau der Diplomarbeit .....                                     | 8         |
| <b>2</b> | <b>Allgemeine Grundlagen</b> .....                                | <b>9</b>  |
| 2.1      | Haupttragwerke und Querschnittsformen von Stahlbetonbrücken ..... | 9         |
| 2.1.1    | Platte .....  | 9         |
| 2.1.2    | Plattenbalken .....   | 10        |
| 2.1.3    | Kastenquerschnitt .....   | 15        |
| 2.1.4    | Trogquerschnitt .....   | 16        |
| 2.2      | Brückenmanagement .....   | 16        |
| 2.2.1    | Bestandsaufnahme .....  | 19        |
| 2.2.1.1  | Überwachung .....   | 19        |
| 2.2.1.2  | Bewertung des Ist-Zustandes .....                                 | 21        |
| 2.2.2    | Brückenerhaltung .....  | 27        |
| 2.2.2.1  | Winterdienst .....  | 27        |
| 2.2.2.2  | Weitere Maßnahmen .....   | 28        |
| <b>3</b> | <b>Schäden und Schadensursachen bei Stahlbetonbrücken</b> .....   | <b>30</b> |
| 3.1      | Schäden an den funktionalen Elementen .....                       | 30        |
| 3.1.1    | Fahrbahnbelag .....   | 30        |
| 3.1.2    | Übergangskonstruktion .....                                       | 32        |
| 3.1.3    | Entwässerungseinrichtung .....                                    | 33        |
| 3.1.4    | Abdichtung .....  | 34        |
| 3.1.5    | Randbalken bzw. Gehsteig .....                                    | 35        |
| 3.1.6    | Schutzeinrichtungen – Leitschiene, Geländer .....                 | 36        |
| 3.2      | Schäden an den konstruktiven Elementen .....                      | 37        |
| 3.2.1    | Überbau .....   | 37        |
| 3.2.2    | Unterbau .....  | 41        |
| 3.2.3    | Lager .....   | 42        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>4</b> | <b>Brückensanierung und -verstärkung .....</b>                        | <b>43</b> |
| 4.1      | Brückensanierung.....   | 44        |
| 4.1.1    | Vorbereitende Maßnahmen .....   | 45        |
| 4.1.2    | Durchführung der Instandsetzungsmaßnahmen .....                       | 47        |
| 4.1.2.1  | Füllen von Rissen .....   | 47        |
| 4.1.2.2  | Instandsetzungssysteme (Betonersatz).....                             | 48        |
| 4.1.2.3  | Oberflächenschutzsysteme .....  | 50        |
| 4.2      | Brückenverstärkung .....  | 51        |
| 4.2.1    | Geklebte Kohlenstofffaserverbundwerkstoffe .....                      | 51        |
| 4.2.2    | Querschnittsergänzung .....   | 54        |
| 4.2.3    | Externe Vorspannung.....  | 57        |
| <b>5</b> | <b>Praktische Beispiele aus Bulgarien.....</b>                        | <b>58</b> |
| 5.1      | Beispiele für Schäden an Stahlbetonbrücken.....                       | 58        |
| 5.1.1    | Beispiel 1: Viadukt Bebresch – km. 30+874 – Autobahn Hemus .....      | 60        |
| 5.1.2    | Beispiel 2: Viadukt Varschilata – km. 61+327 – Autobahn Trakija.....  | 65        |
| 5.1.3    | Beispiel 3: Viadukt bei Tserovo – km. 67+027 – Autobahn Trakija ..... | 69        |
| 5.2      | Beispiel für Instandsetzungsmaßnahmen an Stahlbetonbrücken .....      | 72        |
| 5.2.1    | Brücke über dem Weg Varna-Devnya .....                                | 72        |
| <b>6</b> | <b>Fazit .....</b>  | <b>82</b> |
|          | <b>Literaturverzeichnis.....</b>                                      | <b>83</b> |
|          | <b>Abbildungsverzeichnis .....</b>                                    | <b>85</b> |
|          | <b>Tabellenverzeichnis.....</b>                                       | <b>89</b> |

# Abkürzungsverzeichnis

|      |                                    |
|------|------------------------------------|
| Abb. | Abbildung                          |
| bzw. | beziehungsweise                    |
| CFK  | Carbon-faserverstärkter Kunststoff |
| d.h. | das heißt                          |
| EC   | Eurocode                           |
| EDV  | Elektronische Datenverarbeitung    |
| etc. | et cetera                          |
| EU   | Europäische Union                  |
| LKW  | Lastkraftwagen                     |
| S.   | Seite                              |
| s.g. | so genannt                         |
| u.a. | unter anderem                      |
| vgl. | vergleich                          |
| z.B. | zum Beispiel                       |

# 1 Einleitung

Definitionsgemäß ist eine Brücke eine Anlage, die eine Verbindung zwischen zwei Stellen herstellt, indem ein bestimmtes Hindernis überwunden wird. Sie stellt ein Ingenieurbauwerk dar und muss daher ebenso die Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit erfüllen. Brückenkonstruktionen müssen auch gewissen ästhetischen Anforderungen gerecht werden, sodass sie sich harmonisch in ihre Umgebung einfügen.

Außer den zuvor genannten Anforderungen sollten auch die technische Lebensdauer und die wirtschaftliche Nutzungsdauer in Betracht gezogen werden. Die Lebensdauer hängt vor allem von den verwendeten Baustoffen und der Planungs- bzw. Bauausführungsqualität ab. Zusätzliche Einflussfaktoren sind die äußeren Einwirkungen (Verkehrslasten und Umwelt), denen das Bauwerk dauerhaft ausgesetzt ist. In diesem Sinne sind die Erhaltungs- und die Sanierungsmaßnahmen an einer Brückenkonstruktion unumgänglich und verlangen Fachkenntnisse und Erfahrungen. Die wirtschaftliche Nutzungsdauer wird von immateriellen Einflussfaktoren beeinflusst. Deshalb ist die immaterielle Alterung einer Brücke tatsächlich schwer zu prognostizieren. In der Praxis ist im Allgemeinen die Nutzungsdauer geringer als die Lebensdauer.<sup>1</sup>

Das Thema der Erhaltung und der Sanierung von Brücken gewinnt in Bulgarien immer mehr an Bedeutung, besonders im Hinblick auf eine europäische Entwicklung. Langjährige Inspektionen von Stahlbetonbrücken zeigen eine große Anzahl von Schäden und Defekten an den Brückenkonstruktionen.<sup>2</sup> An manchen Konstruktionen sind sogar dringende Sanierungsarbeiten durchzuführen, um die Gebrauchstauglichkeit weiter zu gewährleisten. Der unbefriedigende Zustand der Brückenkonstruktionen beruht darauf, dass der Zustand der Infrastruktur eines Staates mehr oder weniger eine Funktion von seiner finanziellen Lage bzw. "Gesundheit" darstellt.

---

<sup>1</sup> Bahr, Carolin, Lennerts, Kanibert; Endbericht: Lebens- und Nutzungsdauer von Bauteilen

<sup>2</sup> vgl. Markov, Minev, Dimov: Basic defects and damages on the concrete bridges in Bulgaria, Faculty of C. Eng. UACEG, Sofia, S. 1

## 1.1 Zielsetzung und Forschungsfrage

Fast 95% aller Brücken in Bulgarien bestehen aus Stahlbeton bzw. Spannbeton. Deshalb beschränken sich die Betrachtungen in dieser Diplomarbeit ausschließlich auf diese Konstruktionen.

**Vordergründliches Ziel dieser Diplomarbeit ist es, einen Überblick über die zur Anwendung kommenden Erhaltungs- und Sanierungsmaßnahmen bei Stahlbetonbrücken in Bulgarien zu schaffen. Anhand von praktischen Beispielen bezüglich Zustandserfassungen und Sanierungskonzepte sollte sich ihre Wichtigkeit in Richtung Erhöhung der Sicherheit, Minimierung der Gesamtkosten und Ästhetik ergeben.** Des Weiteren werden neue Methoden zur Sanierung und Verstärkung von Stahlbetonbrücken betrachtet, die ihre Effizienz und Vorteilhaftigkeit in der Praxis bewiesen haben und auch in Bulgarien erfolgreich eingesetzt wurden bzw. weiterhin eingesetzt werden.

Es stellen sich folgende Forschungsfragen: **„Welcher Zusammenhang besteht zwischen den Ergebnissen aus der Zustandserfassung und dem Instandsetzungskonzept bzw. wie geht man bei der Erstellung eines Instandsetzungskonzepts vor?“**

## 1.2 Aufbau der Diplomarbeit

Anschließend an die Einleitung folgen im zweiten Kapitel eine Beschreibung der Balkenbrücken und die allgemeinen Grundlagen des Brückenmanagements bzw. der Brückenerhaltung. Im dritten Kapitel werden die häufigsten Schäden an Stahlbetonbrücken betrachtet. Kapitel vier beschäftigt sich mit den Sanierungs- und Verstärkungsmaßnahmen. Im fünften Kapitel finden sich praktische Beispiele aus Bulgarien. In diesem Abschnitt erfolgt eine Erfassung der Schäden an drei bestehenden Stahlbetonbrücken in Bulgarien und eine Beschreibung eines Instandsetzungskonzepts. Den Abschluss der vorliegenden Diplomarbeit bildet ein Fazit.



## 2 Allgemeine Grundlagen

### 2.1 Haupttragwerke und Querschnittsformen von Stahlbetonbrücken

“Balken- und Plattenbrücken sind die am häufigsten angewendeten Konstruktionsformen des modernen Betonbrückenbaus.“<sup>3</sup> Balkenbrücken sind in Bulgarien sehr verbreitet. Das Haupttragwerk besteht aus geradlinigen Elementen. Aus statischer Sicht wird die Konstruktion überwiegend auf Biegung beansprucht. Als Balkenbrücken werden auch solche Konstruktionen bezeichnet, die im Längsschnitt ihrer Form nach zu dieser Kategorie gehören.<sup>4</sup> Balkenbrücken werden aus Stahlbeton und Spannbeton ausgeführt. Durch die Anwendung von Spannbeton können Brücken mit größeren Spannweiten realisiert werden. Balkenbrücken können aus Ortbeton, Fertigteilen oder als Kombination dieser beiden hergestellt werden (s.g. Mischsysteme).



Abb. 1: Balkenbrücke auf der Autobahn Trakija<sup>5</sup>

Typische Querschnittsformen von Stahlbetonbrücken sind u.a. der Platten-, der Plattenbalken-, der Kasten- und der Trogquerschnitt.

#### 2.1.1 Platte

Die Platte stellt ein dünnwandiges Flächentragwerk dar, das normal zur Ebene belastet wird. Nach EC 2 stellt sich eine Plattenwirkung ein, wenn die Breite des Elements das 5-fache der

<sup>3</sup> vgl. Mehlhorn: Handbuch Brücken, Springer, 2007, S. 291

<sup>4</sup> Topurov: Straßen- und Eisenbahnbrücken aus Stahlbeton, Band 1, ABC Technik, 2012, S. 278

<sup>5</sup> Prof. D. Dimov

Höhe übersteigt. Im Betonbrückenbau gibt es zwei Varianten und zwar einerseits die Vollplatte und andererseits die Hohlplatte. Heute kommen hauptsächlich Vollplatten zur Ausführung.

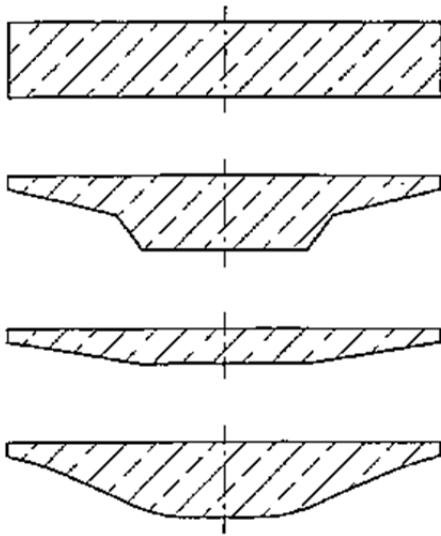


Abb. 2: Vollplatte – Ortbetonkonstruktionen<sup>6</sup>

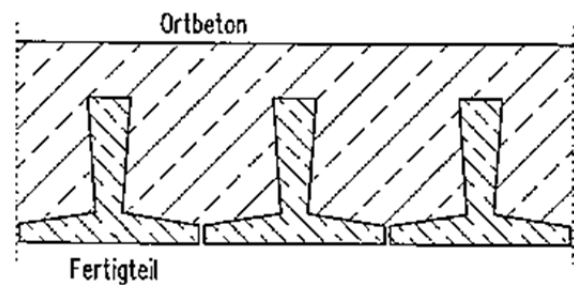


Abb. 3: Vollplatten – Mischsystem<sup>7</sup>

Auf den Bildern sind Ausführungsmöglichkeiten von Vollplatten zu sehen – in Abb. 2 eine Ortbetonkonstruktion und in Abb. 3 eine Kombination von T- Fertigteilen und einem Ortbetonausguss.<sup>8</sup>

### 2.1.2 Plattenbalken

Der Plattenbalken ist eine typische Querschnittsform im Brückenbau (Abb. 4, Abb. 5). Er besteht aus mehreren Stegen und einer Platte. Durch die Eigenschaften der Platte erhält man eine gute Querverteilung der Lasten. Die Plattendicke soll mindestens 20 cm betragen. Sie wird so ausgewählt, dass die Biegemomente infolge äußerer Einwirkungen aufgenommen werden können. Die Stege haben die Aufgabe, die Querkräfte zu übertragen und eine ausreichende statische Höhe zu erzielen. Die Platte besitzt im Prinzip eine gewisse Biegesteifigkeit. Die Anordnung von Querträgern im Feldbereich trägt zu einer Erhöhung der Quertragwirkung bei und reduziert die Durchbiegungen infolge Verkehrsbelastung. Man strebt nach einer möglichst geringen Anzahl von Querträgern. Diese werden in der Regel an den Endwiderlagern bzw. selten auch an den Innenstützen angeordnet.<sup>9</sup>

<sup>6</sup> vgl. Mehlhorn: Handbuch Brücken, Springer, 2007, S. 252

<sup>7</sup> vgl. Mehlhorn: Handbuch Brücken, Springer, 2007, S. 253

<sup>8</sup> vgl. Mehlhorn: Handbuch Brücken, Springer, 2007, S. 244 – 258; 291 - 292

<sup>9</sup> vgl. Ivantschev, Topurov: Stahlbetonbrücken, ABC Technik, Sofia, 2009, S. 69

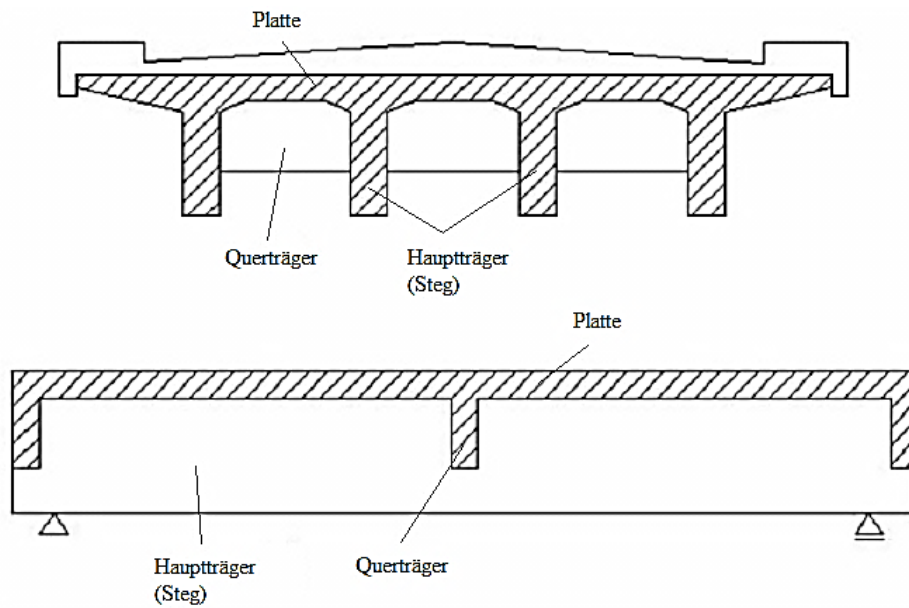


Abb. 4: Plattenbalkenkonstruktion – Querschnitt (oben), Längsschnitt (unten)<sup>10</sup>



Abb. 5: Plattenbalkenbrücke auf der Autobahn Trakija<sup>11</sup>

Plattenbalken können ebenfalls mit einem einzigen Steg ausgeführt werden.

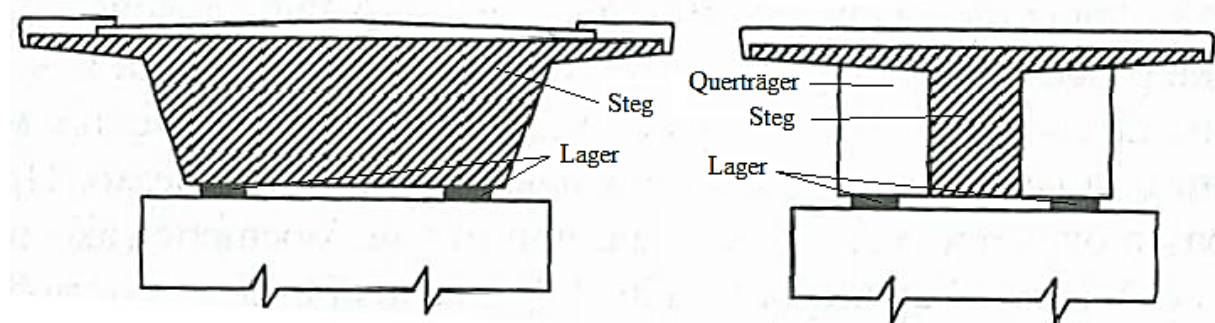


Abb. 6: Plattenbalken mit einem Steg – Lager am Steg (links), Lager am Querträger (rechts)<sup>12</sup>

<sup>10</sup> vgl. Ivantshev, Topurov: Stahlbetonbrücken, ABC Technik, Sofia, 2009, S. 69

<sup>11</sup> Archiv: Prof. D. Dimov

<sup>12</sup> vgl. Ivantshev, Topurov: Stahlbetonbrücken, ABC Technik, Sofia, 2009, S. 72 – 73

Folgende nennenswerte Vorteile der Plattenbalken können erwähnt werden:

- größere Spannweiten als bei Platten realisierbar
- günstige Konstruktion für Vorspannung
- geringeres Eigengewicht im Vergleich zur Platte
- schiefwinklige Lagerung möglich (geringe Torsionssteifigkeit)

Plattenbalken können als Ortbetonkonstruktionen und Fertigteilkonstruktionen bzw. Mischsysteme ausgeführt werden.

Ortbetonkonstruktionen: Für Straßen- und Eisenbahnbrücken werden meistens zwei Stege gewählt, wobei der Stegabstand 5 – 7 m beträgt und die Steghöhe groß sein sollte.

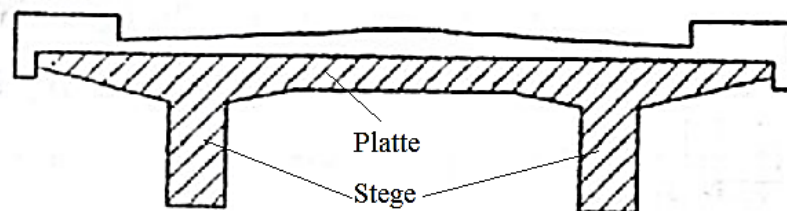


Abb. 7: Plattenbalken mit zwei Stegen (Ortbetonkonstruktion)<sup>13</sup>

Fertigteilkonstruktionen bzw. Mischsysteme: Die Plattenbalkenbrücken aus Fertigteilen zeichnen sich durch eine größere Hauptträgeranzahl und entsprechend kleinere Hauptträgerabstände aus. Plattenbalken können aus U-förmigen Fertigteilen hergestellt werden. Die Verbindung zwischen den Elementen wird durch unbewehrten Beton bewerkstelligt. Eine solche Konstruktionsart kommt in Bulgarien bei Spannweiten von 6 bis 10 m zur Anwendung.<sup>14</sup>

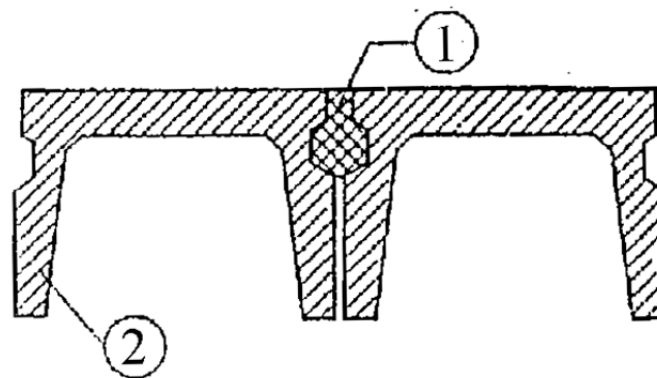


Abb. 8: Plattenbalken – Fertigteilkonstruktion (1) Verdübelung aus Ortbeton, (2) Fertigteilelement

Konstruktionen mit T-Fertigteilen können auf verschiedene Art und Weise ausgeführt werden. Die Fertigteile werden in verschiedenen Abständen verlegt.<sup>15</sup> Das hängt von der Spannweite

<sup>13</sup> vgl. Ivantshev, Topurov: Stahlbetonbrücken, ABC Technik, Sofia, 2009, S. 72

<sup>14</sup> vgl. Ivantshev, Topurov: Stahlbetonbrücken, ABC Technik, Sofia, 2009, S. 88 – 89

<sup>15</sup> vgl. Mehlhorn: Handbuch Brücken, Springer, 2007, S. 244 – 258

und der festgelegten Konstruktionshöhe ab (Abb. 9, Abb. 10). Die Platte kann auch dementsprechend mit geraden Spanngliedern quer vorgespannt werden. Eine Ausführung, bei der die Tragbewehrung ohne Vorspannung monolithisch verbunden wird, ist auch möglich. In diesem Fall sind größere Abstände zwischen den Fertigteilelementen aus konstruktiven Gründen erforderlich.

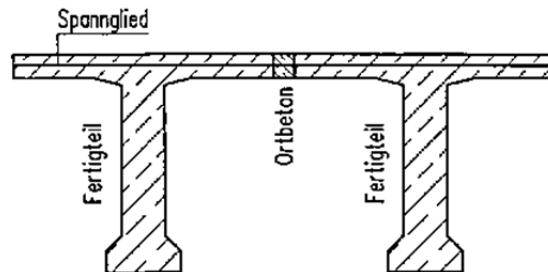


Abb. 9: Mögliche Verlegung der T - Fertigteile<sup>16</sup>

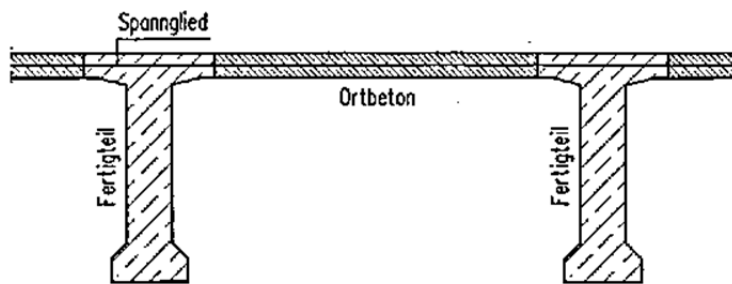


Abb. 10: Mögliche Verlegung der T - Fertigteile<sup>17</sup>

Eine andere Möglichkeit ist eine Konstruktion, die aus Fertigteilträgern und einer Ortbetonplatte besteht. Die Verbindung zwischen den Elementen erfolgt über eine horizontale Längsfuge (Abb. 11).

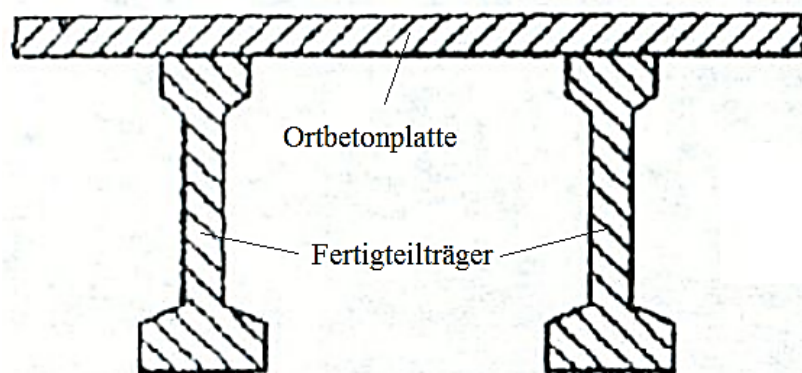


Abb. 11: Mögliche Ausführung von Plattenbalken – Fertigteilträger und Ortbetonplatte<sup>18</sup>

<sup>16</sup> vgl. Mehlhorn: Handbuch Brücken, Springer, 2007, S. 257

<sup>17</sup> vgl. Mehlhorn: Handbuch Brücken, Springer, 2007, S. 257

<sup>18</sup> vgl. Ivantshev, Topurov: Stahlbetonbrücken, ABC Technik, Sofia, 2009, S. 90

Die folgende Abbildung zeigt eine Variante, bei der ein Drittel der Platte (auch Vorplatte genannt) ein Fertigteilelement darstellt und der Rest aus Ortbeton hergestellt wird. Die untere Tragbewehrung liegt in der Fertigteileplatte. Kragarmfertigteileplatten werden mit Durchbrüchen („Öffnungen“) ausgeführt. Mittels dieser Öffnungen kann ein monolithischer Verbund zwischen der Bügelbewehrung der Hauptträger und der Fertigteileplatten erfolgen.<sup>19</sup> Diese Ausführung bietet den Vorteil, dass die Schalung durch die Fertigteileplatten entfallen kann.

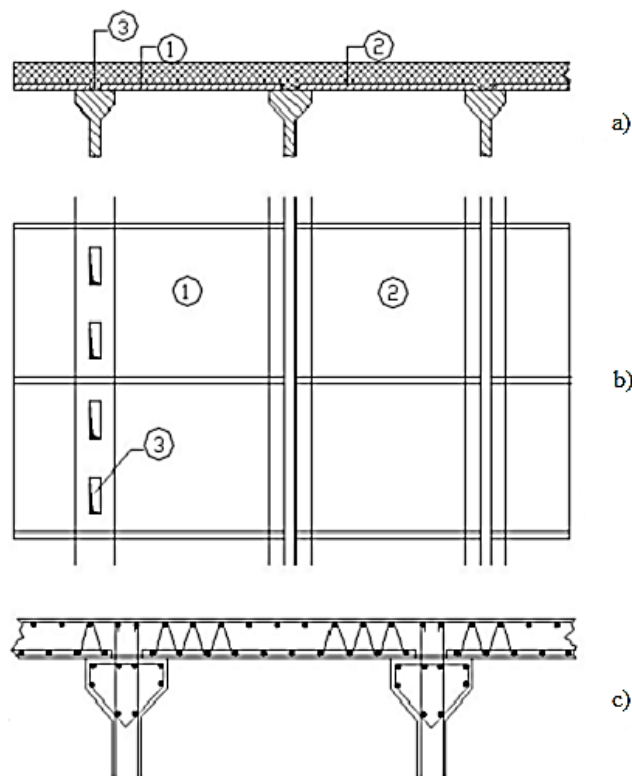


Abb. 12: Ausführung von Plattenbalken mit einer Vorplatte: a) Schnitt, b) Grundriss, c) Bewehrungsplan, 1) Vorplatte: Fertigteil (Kragarm), 2) Vorplatte: Fertigteil (zweiseitig gestützt), 3) „Öffnung“

Eine typische Ausführung in Bulgarien wird auf dem nächsten Bild veranschaulicht. Die Konstruktion besteht aus Fertigteilträgern und -platten.

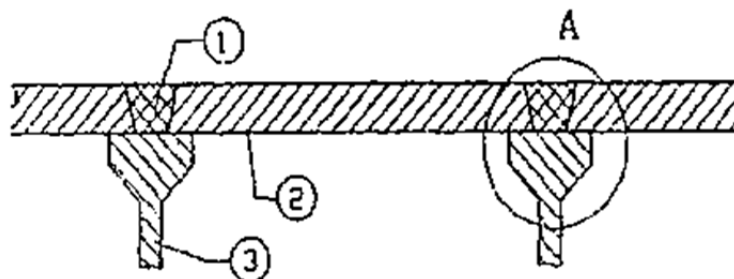


Abb. 13: Ausführung von Plattenbalken mit Fertigteilen: (1) Ortbetonverbindung, (2) Fertigteilplatte, (3) Fertigteilträger<sup>20</sup>

<sup>19</sup> vgl. Ivantshev, Topurov: Stahlbetonbrücken, ABC Technik, Sofia, 2009, S. 92

<sup>20</sup> vgl. Ivantshev, Topurov: Stahlbetonbrücken, ABC Technik, Sofia, 2009, S. 92

Eine Schwachstelle stellt bei dieser Bauweise der Knoten „A“ dar, wo die Bewehrungsstäbe der drei Elemente (Platte links, Platte rechts und Träger) verbunden werden.

Die T-Fertigteile können auch “Mann an Mann” verlegt werden. Daher ist für die Ortbetonplatte keine Schalung notwendig.<sup>21</sup> In Bulgarien werden üblicherweise Fertigteilträger mit gleicher Breite des oberen Gurts von 110 cm und unterschiedlicher Höhe (z.B. 75, 95 und 115 cm) in Serienfertigung hergestellt. In Abhängigkeit von der Höhe sind die Fertigteilträger für verschiedene Spannweiten geeignet. Entweder werden die Fertigteilteilelemente, wie zuvor erwähnt, direkt aneinander verlegt (Abb. 14-a) oder sie werden so verlegt, dass eine Schalung nur für einen Streifen von 8 bis 34 cm, in Abhängigkeit von der Konstruktionsbreite, notwendig ist (Abb. 14-b). Die Schalung kann u.a. in der Konstruktion verbleiben.<sup>22</sup>

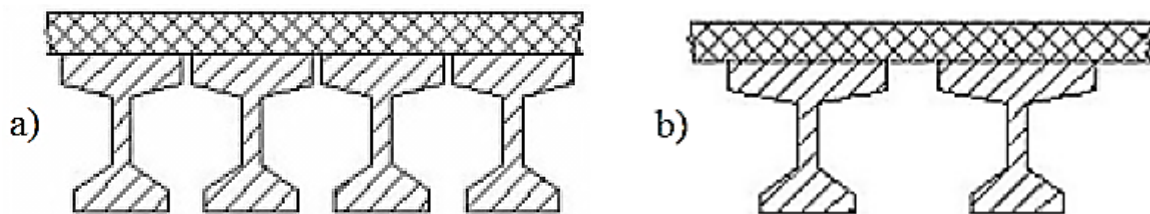


Abb. 14: Ausführung mit T-Fertigteilen und Ortbetonplatte: (a) Verlegung "Mann an Mann", (b) Verlegung mit einem vorbestimmten Abstand

### 2.1.3 Kastenquerschnitt

Der Kastenquerschnitt ist ein rechteckiger Hohlquerschnitt, der aus Ober-, Untergurt und zwei seitlichen Stegen besteht. Die seitlichen Stege können vertikal oder geneigt ausgeführt werden.

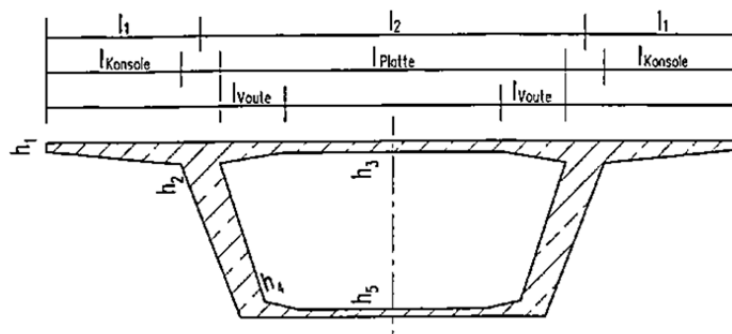


Abb. 15: Kastenquerschnitt<sup>23</sup>

Kastenquerschnitte können einzellig oder bei Anordnung von Zwischenstegen mehrzellig ausgeführt werden. Günstige Eigenschaften von Kastenquerschnitten sind:

- geeignet für mittlere bis große Stützweiten

<sup>21</sup> vgl. Mehlhorn: Handbuch Brücken, Springer, 2007, S. 244 – 258

<sup>22</sup> vgl. Ivantshev, Topurov: Stahlbetonbrücken, ABC Technik, Sofia, 2009, S. 92

<sup>23</sup> vgl. Mehlhorn: Handbuch Brücken, Springer, 2007, S. 258

- besitzen eine große Torsionssteifigkeit
- können gleichermaßen positive und negative Momente aufnehmen
- gut geeignet für Vorspannung

### 2.1.4 Trogquerschnitt

Plattenbalkenkonstruktionen können einen Trogquerschnitt aufweisen. Er besteht aus zwei Stegen und einer Platte, die mittig oder unten liegt. Die Platte weist vergleichsweise zu den anderen Querschnittsformen eine größere Dicke (40 - 50 cm) auf.

Konstruktionen mit einem Trogquerschnitt sind in Bulgarien vorwiegend bei Eisenbahnbrücken zu finden. Wenn der Eisenbahnweg "im Trog" liegt, erreicht man eine geringere Bauhöhe.

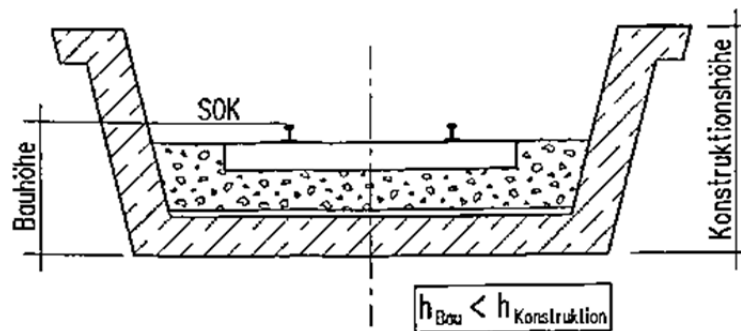


Abb. 16: Trogquerschnitt bei Eisenbahnbrücken<sup>24</sup>

## 2.2 Brückenmanagement

Das Brückenmanagement stellt einen komplexen und relativ neuen Begriff dar und beinhaltet alle Maßnahmen zur Sicherstellung der Funktionsfähigkeit der Brücken und ihre Verbesserung. Es beginnt bereits bei der Planung und endet erst mit dem Abriss der Brückenkonstruktion.<sup>25</sup> In dieser Diplomarbeit wird ausschließlich auf die Nutzungsphase hinsichtlich des Brückenmanagements eingegangen. Auf die Betrachtung der Planungs- und Ausführungsphase wird verzichtet.

Das Brückenmanagementsystem in der Phase der Nutzung beinhaltet mehrere Abläufe:

- **Bestandsaufnahme** – dient zur Feststellung des Ist-Zustandes einer Brücke und beinhaltet die Überwachungen und Prüfungen der Brückenkonstruktion. Diese wird von Fachleuten durchgeführt und die gewonnenen Daten werden in einer (computerge-

<sup>24</sup> vgl. Mehlhorn: Handbuch Brücken, Springer, 2007, S. 254

<sup>25</sup> Harding, Parke, Ryall: Bridge Management, Chapman & Hall, 1990



stützten) Datenbank erfasst Die Spezialisten geben Empfehlungen und Hinweise bezüglich weiterer Maßnahmen, in Abhängigkeit von den aufgetretenen Schäden, ab. Siehe Kapitel 2.2.1.

- **Erhaltung** – sorgt für einwandfreie Verkehrsbedingungen, Entwässerungsanlagen, Übergangskonstruktionen, Reinigung und Winterschutz. Siehe Kapitel 2.2.2.
- **Sanierung und Verstärkung** – dient dem Erstellen von Sanierungskonzepten bzw. Ausführung der Sanierungsmaßnahmen. Siehe Kapitel 4.

In Ländern mit großen finanziellen Möglichkeiten ist das Brückenmanagement vollständig elektronisch gesteuert. Die zuständigen Ämter besitzen Datenbanken, die ausführliche Information über Ergebnisse von Bestandsaufnahmen beinhalten. Sie verfügen über eine Software, die die Daten verwaltet und die geltenden Richtlinien und Vorschriften einhält.<sup>26</sup> Im Rahmen der Diplomarbeit wird das Brückenmanagementkonzept im Zusammenhang mit Stahlbetonbrücken (insbesondere von Straßenbrücken) betrachtet.

Ein aktives Brückenmanagement kann dazu beitragen, dass die Gesamtkosten (Lebenszykluskosten) deutlich reduziert werden, wenn regelmäßige Inspektionen und Erhaltungsmaßnahmen durchgeführt werden. Abb. 17 veranschaulicht diesen Zusammenhang deutlich.

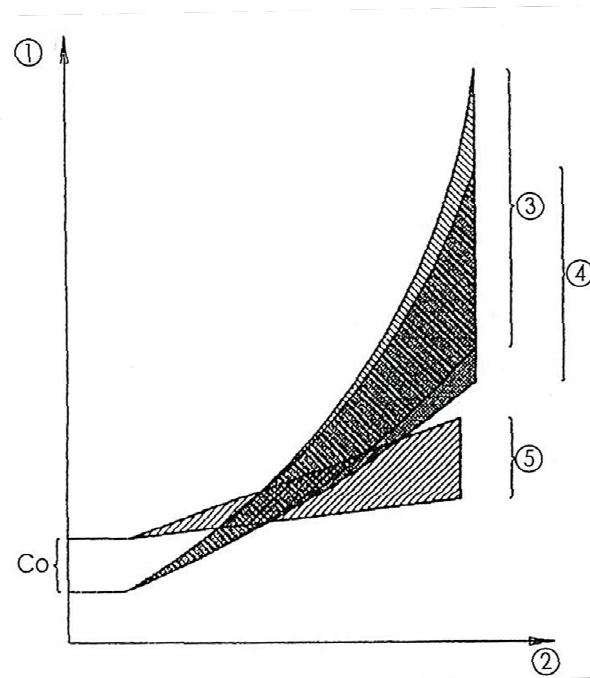


Abb. 17: Überwachungs- bzw. Erhaltungsgrad in Abhängigkeit von der Nutzungsdauer und den Gesamtkosten: (1) Gesamtkosten, (2) Nutzungsdauer (in Jahren), Überwachungsgrade: (3) niedrig, (4) mittel, (5) hoch<sup>27</sup>

<sup>26</sup> Dulevski: Stahlbrücken, ABC Technik, Sofia, 2009, S. 287

<sup>27</sup> Ivantshev, Topurov: Stahlbetonbrücken, ABC Technik, Sofia, 2009, S. 364

Auf der Ordinate sind die Gesamtkosten (1) und auf der Abszisse ist die Nutzungsdauer (2) aufgetragen. Mittels dieser beiden Faktoren lässt sich ein Zusammenhang zum Grad der Überwachung bzw. Erhaltung herstellen. Das Niveau der Erhaltung ist variabel. Die Abbildung unterscheidet drei Genauigkeitsgrade und zwar niedrig (3), mittel (4) und hoch (5). Die schraffierten Flächen stellen eine gewisse Bandbreite dar. Der Wert  $C_0$  legt die Differenz der Anfangsinvestitionen fest, d.h. diese Investitionen sind bei einem höheren Erhaltungsniveau etwas höher. Dies liegt vor allem an einer höheren Planungs-, Ausführungs- und Materialqualität.

Folgende wichtige Schlussfolgerungen können aus der Abbildung gezogen werden. Bei mangelhafter Überwachung und Erhaltung nimmt die Streuung der entsprechenden Gesamtkostenfunktion sehr rasch zu. In diesem Sinne sind die Investitionen in der Planungsphase schwer zu prognostizieren. Das nichtlineare Verhalten der Funktion ist auch für den mittleren Genauigkeitsgrad kennzeichnend. Nicht regelmäßige Bestandsaufnahmen haben zur Folge, dass nicht genügend Informationen über den Brückenzustand vorhanden sind. Es besteht eine höhere Wahrscheinlichkeit, dass bestimmte Elemente der Brücke versagen oder vermehrt Unfälle auftreten. Die Gefahr für nicht konstruktive Elemente wie Fahrbahnbeläge, Leitschienen etc. ist weitaus höher. Beeinträchtigungen der Fahrbahn oder korrodierte bzw. zerstörte Leitschienen sind bei Stahlbetonbrücken in Bulgarien häufig anzutreffen. Das kann zu weiteren Schäden oder schlimmstenfalls zu einer Totalsperre der Brücke führen.<sup>28</sup> Die Erhaltung der Brücken in Bulgarien ist auf einem niedrigen Niveau und entspricht nicht der weltweit gängigen Praxis.<sup>29</sup>

**Im Falle einer qualitativ hochwertigen Planung, Ausführung und Erhaltung bzw. Inspektion der Brücke ist die Funktion der Kosten nahezu linear. Dies stellt eine gute Basis für Investitionsprognosen dar.**

Die Ämter, die für das Brückenmanagement verantwortlich sind, befinden sich in einer hierarchischen Beziehung zueinander. Das Straßennetz in Bulgarien wird von den folgenden Ämtern kontrolliert:

- Bauministerium
- Amt für Straßeninfrastruktur
- Gemeindeverwaltung

---

<sup>28</sup> Ivantshev, Topurov: Stahlbetonbrücken, ABC Technik, Sofia, 2009, S. 364-369

<sup>29</sup> vgl. Ivantshev: Stahlbetonbrücken (Vorlesungen), Sofia, 2005, S. 175

Diese Ämter beauftragen bestimmte Unternehmen, deren Haupttätigkeit und Erfahrung im Bereich der Erhaltung und Sanierung von Brücken liegen.

Die bulgarische Bahninfrastruktur wird getrennt von der Straßeninfrastruktur behandelt. Hierfür ist das Nationale Amt für Bahninfrastruktur zuständig. Auch hier gibt es einige Unternehmen, die sich auf die Erhaltung und Sanierung spezialisiert haben.

### 2.2.1 Bestandsaufnahme

Die Bestandsaufnahme umfasst die Organisation und Durchführung von Überwachungen und Prüfungen und dient zur Feststellung des Ist-Zustandes der Brücke. In diesem Zusammenhang werden die Schäden erfasst und eine Prognose für ihre zeitliche Entwicklung erstellt. Wenn der Ist-Zustand von dem Sollzustand abweicht, sind entsprechende Maßnahmen einzuleiten. Ein weiteres Ziel der Inspektion ist es, diese Maßnahmen im Hinblick auf die Dringlichkeit ihrer Realisierung zu reihen. Im Zuge der Bestandsaufnahmen fällt eine Vielzahl von Daten an, die im Rahmen eines aktiven Brückenmanagements erfasst und verwaltet werden. Mögliche Schäden und Schadensursachen von Stahlbetonbrücken sind im Kapitel 3 zu finden.

#### 2.2.1.1 Überwachung

In Bulgarien unterscheidet man folgende Arten von Überwachungen und zwar die laufende Überwachung, die jährliche Überwachung, die Hauptüberwachung und die spezielle Überwachung.

##### **Laufende Überwachung:**

Sie wird von einem sachkundigen Personal zwei oder vier Mal jährlich durchgeführt. Die laufende Überwachung beschränkt sich auf Bereiche der Konstruktion, die ohne Hilfskonstruktionen zugänglich sind (z.B. Elemente des Oberbaus). Die Aufgabe der laufenden Überwachung liegt hauptsächlich in der Gewährleistung der Verkehrssicherheit. Sie ist auch im Falle eines Erdbebens, einer Überflutung oder bei Unfallereignissen obligatorisch durchzuführen. Die Brücke wird auf auffällige Risse, große Feuchtstellen, außergewöhnliche Verformungen, Betonabplatzungen sowie Anprallschäden untersucht. Die Ergebnisse sind von den Verantwortlichen in ein spezielles Formular einzutragen und dienen zum Erstellen eines Erhaltungs-

konzepts. Zusätzlich können nach Bedarf in manchen Fällen auch Sonderprüfungen durchgeführt werden.<sup>30</sup>

### Jährliche Überwachung:

Sie wird einmal jährlich von Brückenspezialisten durchgeführt. Nach einer visuellen Zustandserfassung der einzelnen Elemente der Konstruktion wird eine Bewertung der gesamten Brücke gemacht. Entsprechende Hilfskonstruktionen oder Inspektionsgeräte kommen zur Anwendung. Zur Bestimmung von Deformationen an einzelnen Elementen können geodätische Messungen durchgeführt werden.<sup>31</sup>

### Hauptüberwachung:

Die Hauptüberwachung wird in einem Zeitabstand von 10 Jahren von erfahrenen Ingenieuren durchgeführt. Neben der visuellen Untersuchung kommen auch Hilfskonstruktionen und Brückeninspektionsgeräte zum Einsatz (Abb. 18, Abb. 19).



Abb. 18: Teleskopkran mit Arbeitskorb<sup>32</sup>



Abb. 19: Teleskopkran mit Arbeitsbühne<sup>33</sup>

Im Zuge der Hauptüberwachung werden alle Schäden an der Brücke erfasst und es wird eine Prognose für ihre zukünftige Entwicklung gestellt. In diesem Sinne stellt die Hauptüberwachung eine vollständige Bewertung des Ist-Zustandes der Brücke dar. Die Tragfähigkeit und die Dauerhaftigkeit der Konstruktion werden beurteilt. Weiters wird bei bzw. nach einer Hauptüberwachung entschieden, ob eine Instandsetzung oder der Ersatz des Bauwerks notwendig ist. Hier ist vor allem das Augenmerk auf die Wirtschaftlichkeit zu legen.<sup>34</sup>

<sup>30</sup> Mehlhorn: Handbuch Brücken, Springer, 2007, S. 1037

<sup>31</sup> Amt für Straßeninfrastruktur: Vorschriften für Überwachung und Erhaltung von Straßenbrücken und Durchlässen, 1993, S. 8

<sup>32</sup> Archiv: Prof. D. Dimov

<sup>33</sup> Archiv: Prof. D. Dimov

<sup>34</sup> Amt für Straßeninfrastruktur: Vorschriften für Überwachung und Erhaltung von Straßenbrücken und Durchlässen, 1993, S. 9

### Spezielle Überwachung:

Bei Notwendigkeit, u.a. hervorgerufen durch Nutzungsänderung, Änderung des statischen Systems, Anprallschaden, Überbelastung oder Erdbeben, wird die spezielle Überwachung durchgeführt. Sie findet daher in unregelmäßigen Abständen statt. Diese Überwachung zeichnet sich durch eine konkrete Aufgabenstellung und Zielsetzung aus. Die spezielle Überwachung wird von hochqualifizierten Spezialisten durchgeführt. Zerstörungsfreie oder quasizerstörungsfreie Prüfverfahren (Radarverfahren, Ultraschall, Mikroseismik etc.) werden eingesetzt. Die Ergebnisse von speziellen Überwachungen dienen zur Erstellung von Instandsetzungskonzepten.<sup>35</sup>

#### 2.2.1.2 Bewertung des Ist-Zustandes

Die Methode zur Bewertung des Ist-Zustands einer Brücke ist in einem Leitfaden des Amts für Straßeninfrastruktur (Bulgarien) zu finden. Folgt man der Vorgehensweise des Leitfadens erhält man eine zahlenmäßige Bewertung für den Ist-Zustand der Brücke.

Die Beurteilung des Zustands einer Brückenkonstruktion ist eine komplexe Tätigkeit. In die Bewertung sind die gesammelten Informationen über die Schäden, ihre mögliche Entwicklung und Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit, die Tragfähigkeit und die Dauerhaftigkeit, miteinzubeziehen. Eine Analyse der Schäden und der Schadensursachen erfolgt im folgenden Kapitel.

Die Zustandsbewertung von einzelnen Elementen der Brückenkonstruktion erfolgt auf der Grundlage einer 5-teiligen Bewertungsskala, die in der nachfolgenden Tabelle dargestellt ist.

| Schadensart  | Bewertung in Worten | Zahlenbewertung $\delta_i$ |
|--|---------------------|----------------------------|
| <b>Vernachlässigbare Mängel:</b><br>keine Schadensentwicklung, nur ästhetische Auswirkungen  | Sehr gut            | 5                          |
| <b>Leichte Mängel:</b><br>zum Zeitpunkt der Inspektion keine negative Auswirkungen auf das Element, leichte Schadensentwicklung möglich  | gut                 | 4                          |
| <b>Mittelschwere Mängel:</b><br>negative Auswirkungen auf das Element, noch keine Auswirkungen auf die Tragfähigkeit und die Verkehrssicherheit, fortschreitende Schadensentwicklung möglich | mittel              | 3                          |

<sup>35</sup> Amt für Straßeninfrastruktur: Vorschriften für Überwachung und Erhaltung von Straßenbrücken und Durchlässen, 1993, S. 10

| Schadensart  | Bewertung in Worten | Zahlenbewertung $\sigma_i$ |
|--|---------------------|----------------------------|
| <b>Schwere Mängel:</b><br>negative Auswirkungen auf das Element und die Konstruktion, Schadensentwicklung in naher Zukunft, Gefährdung der Verkehrssicherheit und der Tragfähigkeit des Elements, Instandsetzungsmaßnahmen innerhalb von 3-4 Jahren erforderlich   | schlecht            | 2                          |
| <b>Sicherheitsgefährdende Mängel:</b><br>enorme Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit, die Tragfähigkeit des Elements und die Konstruktion, Einführung eines neuen Verkehrskonzepts erforderlich – Geschwindigkeitsreduktion und Gewichtsbeschränkung für die Verkehrsmittel, Sanierungsarbeiten innerhalb von einem Jahr erforderlich | Sehr schlecht       | 1                          |
| <b>Unfallgefahr</b>  | -                   | 0                          |

Tabelle 1: Zustandsbewertung von Brückenkonstruktionen<sup>36</sup>

Die folgenden Abbildungen veranschaulichen die vorige Tabelle.

Abb. 20: Hauptträger: Links - sehr schlechter Zustand (1), Rechts - sehr guter Zustand (5)<sup>37</sup>

Eine Zahlenbewertung für die gesamte Konstruktion kann mittels nachstehender Formel erfolgen.

$$C = \frac{\sum K_i \times \sigma_i}{\sum K_i}$$

$\sigma_i$  Bewertung des Zustands des Elements i

$K_i$  Bedeutungsbeiwert des Elements i

C Bewertung des Zustands der gesamten Konstruktion; auf Zehntel gerundet

<sup>36</sup> Amt für Straßeninfrastruktur: Vorschriften für Überwachung und Erhaltung von Straßenbrücken und Durchlässen, 1993, S. 60; übersetzt und adaptiert

<sup>37</sup> Archiv: Links: Prof. D. Kissov; Rechts: Nikolov: Straßenbrücken aus Stahlbeton – Planung; Konsult 2000, Sofia, 2013, S. 17

Die Werte für den Bedeutungsbeiwert  $K_i$  entnimmt man der folgenden Tabelle:

| Bereich                   | Element  | Bedeutungsbeiwert $K_i$ |
|---------------------------|--|-------------------------|
| Fahrbahn                  | Belag<br>Abdichtung<br>Übergangskonstruktion<br>Entwässerungseinrichtung<br>Leitschiene                                      | 3                       |
|                           | Randbalken<br>Geländer<br>Gehsteig<br>Schleppplatte  | 2                       |
|                           | Verbindung mit der Straße u.a. Kabelrohre, Wasserleitungen, Verkehrszeichen und Straßenmarkierung                            | 1                       |
| Überbau                   | Hauptträger<br>Hauptfachwerk<br>(Plattenkonstruktionen)<br>Bogen<br>Lager  | 5                       |
|                           | Gewölbe<br>Platte<br>Randbalken<br>Aussteifung (Bogenbrücken)<br>Riegel (Bogenbrücken)                                       | 4                       |
|                           | Querträger<br>Windverband  | 3                       |
| Unterbau<br>und Flussbett | Riegel und Konsole (Pfeiler)<br>Pfahl  | 5                       |
|                           | Stütze und Wand (Pfeiler)<br>Fundament (Stützen)<br>Platte (Pfahlgründungen)<br>Fundament (Bogen- und Gewölbekonstruktionen) | 4                       |
|                           | Auflagerbank<br>Widerlager und Pfeiler<br>Fundament (Widerlager und Pfeiler)   | 3                       |
|                           | Flügel<br>Fundament (Flügel)<br>Mutterboden bei Böschungen<br>Randelement am Flussufer<br>Bühne                              | 2                       |

Tabelle 2: Ermittlung des Bedeutungsbeiwerts  $K_i$ <sup>38</sup>

<sup>38</sup> Amt für Straßeninfrastruktur: Vorschriften für Überwachung und Erhaltung von Straßenbrücken und Durchlässen, 1993, S. 62; übersetzt und adaptiert

Die Elemente der Brücke werden in voriger Tabelle in drei Bereiche (Fahrbahn, Überbau und Unterbau) eingeteilt. Die Anzahl der Elemente in jedem Bereich, die zu berücksichtigen sind, muss mindestens acht und darf maximal zwölf betragen. Elemente gleicher Art (z.B. Hauptträger) können auch in Gruppen zusammengefasst werden und in die oben angeführte Formel für  $C$  als Einzelement eingesetzt werden.

### Beispiel:

Zu bestimmen ist der Zahlenwert des Zustands einer Beispielsbrücke. Die Brücke befindet sich auf der Route A – B. Sie besteht aus zwei voneinander getrennten Konstruktionen und zwar der „rechten“ Konstruktion in der Fahrtrichtung von A nach B und aus der „linken“ Konstruktion in der gegenseitigen Fahrtrichtung. Jede Konstruktion besteht aus zwei Feldern. Die angeführten Bezeichnungen gelten auch für die zugehörigen Elemente. Im Rahmen einer visuellen Zustandserfassung wurden folgende Werte für den Bedeutungsbeiwert  $K_i$  und für die Zahlenbewertung  $\bar{b}_i$  festgestellt. Es wurden u.a. acht Elemente in jedem Bereich der Brücke berücksichtigt. Gegeben sind die Zahlenbewertungen von zwei weiteren Brücken  $C_1 = 2,72$  bzw.  $C_2 = 2,28$ . Festzustellen sei, an welcher von den drei Brücken Sanierungsmaßnahmen vorrangig durchzuführen sind.

| Bereich  | Element                  | Bedeutungsbeiwert $K_i$ | Zahlenbewertung $\bar{b}_i$ | $K_i \times \bar{b}_i$ |
|----------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Fahrbahn | Belag                    | 3                       | 3                           | 9                      |
|          | Entwässerungseinrichtung | 3                       | 3                           | 9                      |
|          | Abdichtung               | 3                       | 2                           | 6                      |
|          | Übergangskonstruktion    | 3                       | 2                           | 6                      |
|          | Leitschiene              | 3                       | 3                           | 9                      |
|          | Randbalken               | 2                       | 1                           | 2                      |
|          | Geländer                 | 2                       | 4                           | 8                      |
|          | Straßenmarkierung        | 1                       | 1                           | 1                      |
| Überbau  | Hauptträger (links)      | 5                       | 4                           | 20                     |
|          | Hauptträger (rechts)     | 5                       | 3                           | 15                     |
|          | Platte (links)           | 4                       | 4                           | 16                     |
|          | Platte (rechts)          | 4                       | 4                           | 16                     |
|          | Randbalken (links)       | 4                       | 2                           | 8                      |
|          | Randbalken (rechts)      | 4                       | 2                           | 8                      |
|          | Lager (links)            | 5                       | 3                           | 15                     |
|          | Lager (rechts)           | 5                       | 2                           | 10                     |



| Bereich                | Element                            | Bedeutungsbeiwert<br>$K_i$ | Zahlenbewertung<br>$\delta_i$ | $K_i \times \delta_i$ |
|------------------------|------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| Unterbau und Flussbett | Riegel und Konsole (Pfeiler)       | 5                          | 2                             | 10                    |
|                        | Auflagerbank                       | 3                          | 3                             | 9                     |
|                        | Widerlager und Pfeiler             | 3                          | 3                             | 9                     |
|                        | Fundament (Widerlager und Pfeiler) | 3                          | 4                             | 12                    |
|                        | Flügel                             | 2                          | 4                             | 8                     |
|                        | Fundament (Flügel)                 | 2                          | 4                             | 8                     |
|                        | Mutterboden bei Böschungen         | 2                          | 2                             | 4                     |
|                        | Randelement am Flussufer           | 2                          | 1                             | 2                     |
|                        |                                    | $\sum K_i = 78$            |                               | $\sum \delta_i = 220$ |

Tabelle 3: Rechenbeispiel - Ausgangsdaten

$$C = \frac{\sum K_i \times \delta_i}{\sum K_i} = \frac{220}{78} = 2,82$$

Das Ergebnis zeigt eindeutig, dass Sanierungsmaßnahmen an der Brücke mit einer Zahlenbewertung von  $C_2 = 2,28$  vorrangig durchzuführen sind.

Die zahlenmäßige Bewertung des Brückenzustands  $C$  dient zur Bestimmung der Dringlichkeit von Erhaltungs- und Sanierungsmaßnahmen. Noch zwei weitere Einflussfaktoren sind zu berücksichtigen:

- Allgemeine Abnutzung der Brücke
- Bedeutungskategorie der Route, auf der sich die Brücke befindet

Die **allgemeine Abnutzung** der Brücke hängt von der bereits bestehenden Nutzungsdauer ab. Als Nutzungsdauer gilt in diesem Fall die Zeitspanne von der Errichtung bis hin zur durchgeführten Überwachung. Weiters wird die Abnutzung vom Genauigkeitsgrad der Überwachung bzw. von der Erhaltung der Brücke beeinflusst.

In der folgenden Tabelle ist der Koeffizient für die allgemeine Abnutzung der Brücke ( $K_{1i}$ ) dargestellt.

| Restnutzungsdauer in Jahren | Koeffizient für die allgemeine Abnutzung (K1 <sub>i</sub> ) |
|-----------------------------|---|
| Über 50                     | 1,30  |
| 25 – 50                     | 1,20  |
| 10 – 25                     | 1,10  |
| Bis 10                      | 1,00  |

Tabelle 4: Koeffizienten für die allgemeine Abnutzung (K1<sub>i</sub>)<sup>39</sup>

Die **Bedeutungskategorie der Route** (K2<sub>i</sub>) hängt von der täglichen Verkehrsstärke ab.

| Mittlere tägliche Verkehrsstärke (Kfz-E/Tag) | Bedeutungskategorie der Route (K2 <sub>i</sub> ) |
|--|--|
| Über 10000                                   | 1,30   |
| 3000 – 10000                                 | 1,20   |
| 1000 – 3000                                  | 1,10   |
| Unter 1000                                   | 1,00   |

Tabelle 5: Bedeutungskategorie der Route (K2<sub>i</sub>)<sup>40</sup>

Die Brückenzustandsbewertung C und die beiden Koeffizienten K1 und K2 werden in die Formel zur Dringlichkeitsreihung von Erhaltungs- und Sanierungsarbeiten eingesetzt.

$$P_i = \frac{C_i \times \sum_{i=1}^m C_i}{2} \left( \frac{K1_i}{\sum_{i=1}^m C_i \times K1_i} + \frac{1}{K2_i \times \sum_{i=1}^m \frac{C_i}{K2_i}} \right)$$

- P Dringlichkeitsreihung von Erhaltungs- und Sanierungsarbeiten  
 C Bewertung des Zustands der Brücken  
 K1 Koeffizient für die allgemeine Abnutzung  
 K2 Bedeutungskategorie der Route  
 m Anzahl der Brücken die betrachtet werden  
 i Nummer der Brücke in der betrachteten Gruppe

Nachdem alle Vorrangskennwerte ermittelt wurden, ist eine Liste zu erstellen, in der die Brücken aufsteigend nach P geordnet sind. Die Erhaltungs- und Sanierungsarbeiten sind dann in dieser Reihenfolge durchzuführen.<sup>41</sup> Die Dringlichkeitsreihung stellt einen grundlegenden Faktor für die Einführung eines ganzheitlichen Brückenmanagements dar. Der Unterschied zwischen der Zahlenbewertung C und der Dringlichkeitsreihung P besteht darin, dass der Vorrangskennwert weitere Einflussgrößen berücksichtigt. Die Bestimmung der Restnutzungsdau-

<sup>39</sup> Amt für Straßeninfrastruktur: Vorschriften für Überwachung und Erhaltung von Straßenbrücken und Durchlässen, 1993, S. 64

<sup>40</sup> Amt für Straßeninfrastruktur: Vorschriften für Überwachung und Erhaltung von Straßenbrücken und Durchlässen, 1993, S. 64

<sup>41</sup> Amt für Straßeninfrastruktur: Vorschriften für Überwachung und Erhaltung von Straßenbrücken und Durchlässen, 1993, S. 65

er, von der der Koeffizient  $K_1$  abhängig ist, ist u.a. sehr aufwendig und kompliziert. In diesem Sinne ist es notwendig, die geltenden Vorschriften zu überarbeiten bzw. die weltweit gängigen Verfahrensweisen in Bulgarien umzusetzen.

## 2.2.2 Brückenerhaltung

Die Brückenerhaltung beinhaltet alle technischen Vorhaben und Maßnahmen, die die Verkehrssicherheit und Funktionalität gewährleisten. In Bezug auf die Verkehrssicherheit werden an Brücken dieselben Anforderungen wie an Straßen gestellt. Eine systematische Brückenerhaltung sollte die obigen Ziele bei gleichzeitig höchstmöglicher Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit erreichen. Das Aufgabengebiet der Erhaltung umfasst hauptsächlich den Winterdienst, die Reinigung und einige kleine Ausbesserungs- bzw. Sanierungsarbeiten.

### 2.2.2.1 Winterdienst

Die geografische Lage von Bulgarien setzt voraus, dass die Schneeräumung und Enteisung von enormer Wichtigkeit für die Gewährleistung der Verkehrssicherheit sind. Außerdem bildet sich bei starkem Regen und gleichzeitig verstopften Entwässerungseinrichtungen ein Wasserfilm, der zu Verkehrsbeeinträchtigungen führt und daher eine Unfallgefahr darstellt.

Es kommen in Abhängigkeit von der zu räumenden Fläche und Schneehöhe verschiedene motorbetriebene Geräte zum Einsatz. Bei der Räumung kann es passieren, dass sich der Schnee an den beiden Fahrbahnrandern anhäuft. Dieser Umstand kann zu Problemen führen und zwar wenn tagsüber die Außentemperatur ansteigt und ein Teil vom Schnee schmilzt. Dadurch kann sich auf der Fahrbahn ein dünner Wasserfilm bilden, der dann in der Nacht, bei sinkenden Temperaturen, gefriert. Um diesen Effekt zu vermeiden und die Eisbildung auf der Fahrbahn zu reduzieren, muss man den an den Rändern gesammelten Schnee manuell beseitigen.

Kalte Luftströmungen können die Fahrbahnoberfläche abkühlen und so kann es am Morgen zu Wasserkondensation und in weiterer Folge zur Eisbildung kommen. Dieser Umstand tritt vor allem zu Frühlingsbeginn oder im Spätherbst auf.

Bei Glätte reduziert sich die Griffbarkeit wesentlich und der Fahrer kann leicht die Kontrolle über das Fahrzeug verlieren. Eine mögliche Ursache für einen Verkehrsunfall beruht darauf, dass die Autofahrer auf die unterschiedlichen Bedingungen beim Übergang von der Straße auf die Brücke nicht eingestellt sind.

Aus diesen Gründen ist es von grundlegender Bedeutung, dass der Winterdienst bei den Brücken sehr sorgfältig durchgeführt wird. Die Maßnahmen gegen Eisbildung sind sehr unterschiedlich. Dazu zählen u.a.: Streuung von Sand, Splitt, Kombination von den zuvor genannten und die Anwendung von Taumitteln. Die Betrachtungen in dieser Diplomarbeit beschränken sich überwiegend auf die tauenden Streustoffe, da sie einen negativen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit der Brückenkonstruktion haben.<sup>42</sup>

Das Tauen des Eises durch eine aufgebrachte Salzlösung auf der Straße ist ein chemischer Prozess, der Hydratation genannt wird. Als tauende Stoffe eignen sich vor allem folgende Chloride: Natriumchlorid (NaCl), Kalziumchlorid (CaCl<sub>2</sub>), Magnesiumchlorid (MgCl<sub>2</sub>).<sup>43</sup>

An die Taumittel werden verschiedene Anforderungen bezüglich chemischer Zusammensetzung, Korngröße etc. gestellt. Besonders der Sulfatanteil, ausgedrückt durch CaSO<sub>4</sub>, ist äußerst aggressiv gegen den Beton und darf einen bestimmten Wert nicht übersteigen. In diesem Sinne sind konstruktive Schutzvorkehrungen erforderlich. Die Dauerhaftigkeit der Stahlbetonkonstruktion kann durch die Anwendung von speziellen sulfatbeständigen Zementen erhöht werden.

Während auf der einen Seite die Einwirkungen von chemischen Taumitteln auf die Konstruktion eine große Gefahr bedeuten, darf auf der anderen Seite die schädliche Wirkung auf die Umwelt nicht unterschätzt werden. Es empfiehlt sich die Errichtung von kleinen stationären dezentralen Kläranlagen für die Brücken außerhalb von Ballungszentren. Im städtischen Bereich wird das Abwasser direkt zu Abwasserbehandlungsanlagen transportiert.<sup>44</sup> Hinsichtlich der Abwasserbehandlung sind in Bulgarien noch einige Projekte umzusetzen.

### 2.2.2.2 Weitere Maßnahmen

Im Zuge der Erhaltung sind verschiedene, vom Umfang her kleine, Maßnahmen durchzuführen. Einige von diesen sind in weiterer Folge beschrieben.

Die Beschaffenheit der Asphaltoberfläche ist nicht nur für die Verkehrssicherheit von großer Bedeutung, sondern hat auch einen wesentlichen Einfluss auf die dynamische Beanspruchung der Konstruktion und die Ermüdung des Materials. Eine Beeinträchtigung der Asphaltoberfläche kann u.a. zu einer weiteren Schädigung der Abdichtung führen. Diese Schäden sind in

---

<sup>42</sup> Ivantshev, Topurov: Stahlbetonbrücken, ABC Technik, Sofia, 2009, S. 366

<sup>43</sup> Winterdienst im Land Schleswig – Holstein: <http://www.schleswig-holstein.de>

<sup>44</sup> Ivantshev, Topurov: Stahlbetonbrücken, ABC Technik, Sofia, 2009, S. 367

kürzester Zeit zu beseitigen. Längs-, Quer-, Rand- und Netzrisse im Asphalt werden mit Heiß- oder Kaltmischgut vergossen. Aufwölbungen, Einsenkungen oder Spurrinnen werden lokal bis zur Abdichtung gefräst und eine neue Asphaltenschicht wird hergestellt. Schlaglöcher werden ebenfalls gefräst und mittels Kalt- oder Heißmischgut aufgefüllt.

In bestimmten Abständen sind auf der Brückenkonstruktion Entwässerungseinrichtungen vorzusehen. Während der Nutzungsdauer kann der Einlaufschacht oder das Entwässerungsrohr verstopft sein, sodass die einwandfreie Ableitung des Niederschlagswassers verhindert wird. Eine systematische Reinigung der Entwässerungseinrichtungen ist erforderlich.

Übergangskonstruktionen werden in der Regel aus Metall- oder Gummiprofilen ausgeführt. Während der kalten Jahreszeit gelangen leicht Verunreinigungen in die offenen Fugen. Infolge der Temperaturdehnungen im Sommer kann es zu einer Schließung der Fuge kommen. Infolgedessen bleiben die gesammelten Verunreinigungen in der Fuge und verursachen den Verschleiß der Profile. Deshalb wird in Bulgarien im späten Frühling eine Reinigung der Übergangskonstruktionen durchgeführt. So wird ihre Nutzungsdauer wesentlich verlängert.

An Lagern sind ebenso in regelmäßigen Abständen Erhaltungsarbeiten durchzuführen. Bei Rollenlagern zum Beispiel werden die alten Schmierstoffe an den Kontaktflächen beseitigt und durch neue ersetzt.<sup>45</sup> Wenn im Rahmen von Überwachungen sehr große Schäden (z.B. Versagen des Lagers) festgestellt werden, ist dieses Lager zu ersetzen.

---

<sup>45</sup> Ivantshev, Topurov: Stahlbetonbrücken, ABC Technik, Sofia, 2009, S. 367

## 3 Schäden und Schadensursachen bei Stahlbetonbrücken

Die Schäden an den Brückenkonstruktionen lassen sich in zwei Gruppen einteilen und zwar in Schäden an den funktionalen Elementen und Schäden an den konstruktiven Elementen.

### 3.1 Schäden an den funktionalen Elementen

Straßenbrücken sind ein Teil des Straßennetzes und erfüllen dieselben Funktionen wie die Straße. Neben den Einrichtungen, die die Verkehrssicherheit gewährleisten, gibt es noch bauwerksspezifische Elemente. Jede Straßenbrücke verfügt in der Regel über die folgenden funktionalen Elemente und zwar den Fahrbahnbelag, die Übergangskonstruktion, die Entwässerungseinrichtung, die Abdichtung, den Randbalken und die Schutzeinrichtung.

#### 3.1.1 Fahrbahnbelag

Der Oberbau einer Brückenkonstruktion ist aus einzelnen Schichten aufgebaut. Die oberste Schicht wird als Deckschicht bezeichnet. Man kann in der Regel zwischen der bituminösen Bauweise und der Betonbauweise unterscheiden. Im modernen Brückenbau hat sich die bituminöse Bauweise durchgesetzt. Die Deckschicht wird unmittelbar durch den Verkehr und die Umwelt beansprucht. In diesem Sinne sollte man der Ausführung der Deckschicht besondere Aufmerksamkeit schenken, damit die Abdichtung und die Tragkonstruktion in weiterer Folge nicht beschädigt werden.<sup>46</sup>

Die folgenden Bilder (Abb. 21, Abb. 22, Abb. 23)<sup>47</sup> zeigen, als Ergebnis einer visuellen Zustandserfassung, typische Schäden an Fahrbahndecken aus Asphalt. Die Schadensursachen können folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Überbeanspruchung durch Verkehr oder Temperaturspannungen – Risse
- starke Belastung durch den Verkehr, hohe Belastungsdauer und Temperaturen – Bildung von Spurrinnen
- Einbaufehler
- Kontinuierliche Schadensentwicklung – Schlaglöcher (Abb. 24)

<sup>46</sup> Mehlhorn: Handbuch Brücken, Springer, 2007, S. 1022

<sup>47</sup> Blab: Straßenwesen (Skriptum zur Lehrveranstaltung), 2010

- mangelhafte Verdichtung des Damms, falsch ausgeführte oder fehlende Schleppplatten – Absenkungen im Bereich des Widerlagers (Abb. 25)

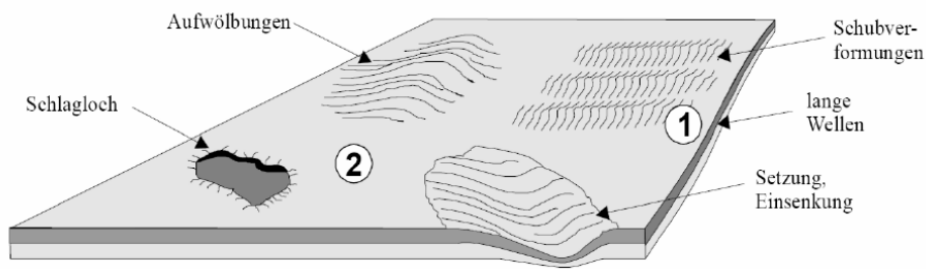


Abb. 21: Schäden an bituminösen Fahrbahndecken – (1) regelmäßig, (2) unregelmäßig

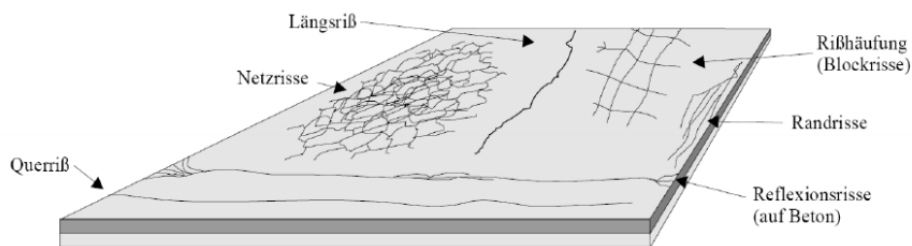


Abb. 22: Schäden an bituminösen Fahrbahndecken – Arten von Rissen

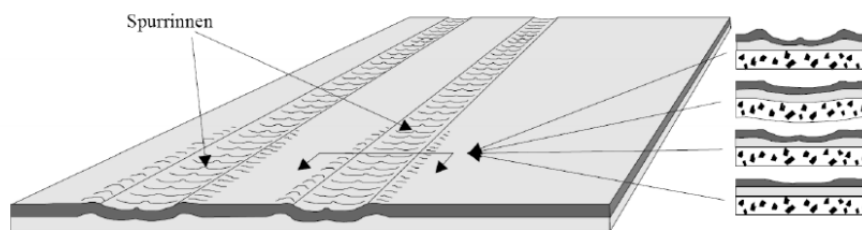


Abb. 23: Schäden an bituminösen Fahrbahndecken – Spurrinnen



Abb. 24: Brücke auf Autobahn Hemus 380+680 – Schäden an der Asphaltdecke<sup>48</sup>

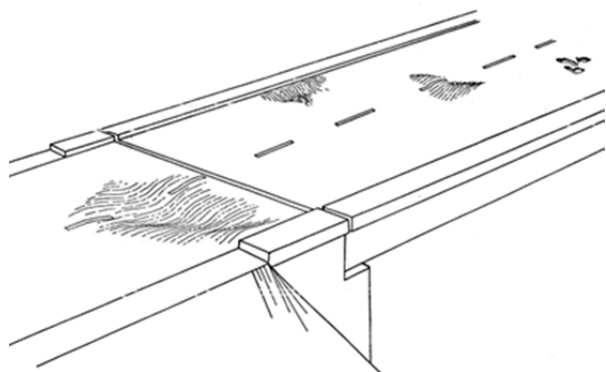


Abb. 25: Schäden im Widerlagerbereich<sup>49</sup>

<sup>48</sup> Archiv: Amt für Straßeninfrastruktur, Varna

<sup>49</sup> Ivantshev: Stahlbetonbrücken (Vorlesungen), Sofia, 2005

### 3.1.2 Übergangskonstruktion

Die Schadensursachen hängen im Wesentlichen von der Art bzw. von den Materialien der Übergangskonstruktion ab. Früher wurden Übergangskonstruktionen aus Kupferblech ausgeführt (Abb. 26). Das Füllmaterial, das die beiden Asphaltsschichten verbindet, besteht aus Bitumen, das mit der Zeit seine plastischen Eigenschaften verliert. Infolge der gegenseitigen Verschiebungen treten Risse auf. Mögliche Schäden können z.B. Beschädigungen der Abdichtung bzw. Risse und Verschiebungen am Kupferblech sein. Infolge dieser Schäden wird die Wasserundurchlässigkeit im Bereich der Übergangskonstruktion beeinträchtigt. Heutzutage werden für kleine Dilatationen Übergangskonstruktionen aus elastischem Füllmaterial angewendet (Abb. 27)

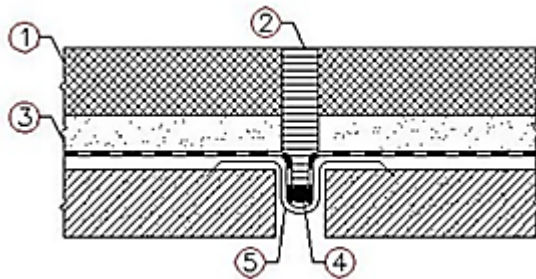


Abb. 26: Übergangskonstruktion aus Kupferblech: (1) Asphalt, (2) Füllung aus Polymermodifiziertem Bitumen (PmB), (3) Ausgleichsschicht, (4) Seil, (5) Kupferblech<sup>50</sup>

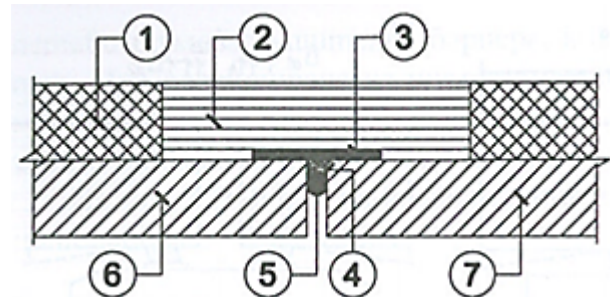


Abb. 27: Übergangskonstruktion aus elastischem Füllmaterial: (1) Asphaltsschicht, (2) elastisches Füllmaterial, (3) Metallplatte, (4) Dichtungsmaterial, (5) elastischer Stab, (6) Überbau, (7) Widerlager<sup>51</sup>

Bei Übergangskonstruktionen mit sinusförmiger Abdeckung (siehe Abb. 28) kann es zu einer Verstopfung der Öffnungen mit Sand oder anderen Verunreinigungen kommen.



Abb. 28: Übergangskonstruktion mit sinusförmiger Abdeckung<sup>52</sup>

<sup>50</sup> Ivantshev, Topurov: Stahlbetonbrücken, ABC Technik, Sofia, 2009, S.58

<sup>51</sup> Topurov: Straßen- und Eisenbahnbrücken aus Stahlbeton, Band 1, ABC Technik, 2012, S. 152

<sup>52</sup> <http://www.jannasch-gmbh.de>



Infolgedessen werden die freien Deformationen (Bewegungen) verhindert und somit ist die Funktion der Übergangskonstruktion nicht mehr gewährleistet. Lockere oder fehlende Bolzen und beschädigte Stahlplatten stellen ebenfalls mögliche Probleme dar.

Zu weiteren Schäden bzw. Schadensursachen zählen:

- Beeinträchtigung der Wasserundurchlässigkeit oder der Entwässerung
- schlechte Erhaltung
- Verformungen in vertikaler Richtung: lokale Unebenheiten auf der Fahrbahn
- Ausführungsfehler: keine Berücksichtigung der Dilatationen infolge der Materialeigenschaften des Betons (Schwinden und Kriechen), schlechte Verbindung zwischen Stahlprofilen und Fahrbahnplatte

Auf den folgenden Bildern sind zwei Beispiele für Übergangskonstruktionen zu sehen und zwar eine Übergangskonstruktion für größere Dilatationen (Abb. 29) und eine mögliche Ausführung mit Stahl- und Gummiprofilen (Abb. 30). Schäden an diesen Übergangskonstruktionen wie z.B. eingerissene oder korrodierte Profile treten häufig auf. Im Rahmen einer Überwachung können feuchte Stellen am Beton oder an der Brückenunterseite festgestellt werden. Diese beruhen auf einer Beeinträchtigung der Wasserundurchlässigkeit der Übergangskonstruktion.

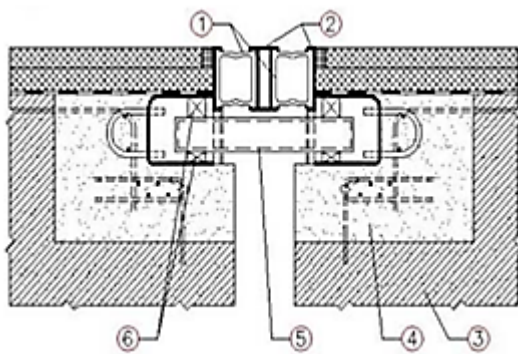


Abb. 29: Übergangskonstruktion für große Dilatationen: (1) Kautschukprofil, (2) Stahlprofil, (3) Stahlbetonkonstruktion, (4) Ortbeton, (5) Stahlprofil, (6) Gleitlager<sup>53</sup>

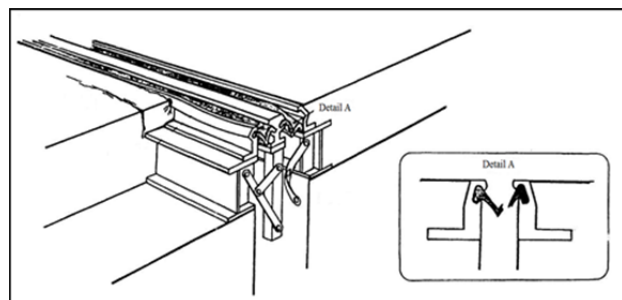


Abb. 30: Übergangskonstruktion aus Stahl- und Gummiprofilen: mögliche Schäden<sup>54</sup>

### 3.1.3 Entwässerungseinrichtung

Infolge einer schlechten Erhaltung kann eine Verstopfung der Entwässerungseinrichtungen auftreten. Eine Beschädigung der Verbindung von Konstruktion und Entwässerungseinrichtung bzw. Abdichtung gilt als ein möglicher Schaden. In der Vergangenheit wurden zu kurze

<sup>53</sup> Ivantshev, Topurov: Stahlbetonbrücken, ABC Technik, Sofia, 2009, S. 59

<sup>54</sup> Detshev, Georgiev: Vorlesungen zur LVA Erhaltung und Sanierung von Brücken, Sofia, 2007

Entwässerungsröhre ausgeführt. Bei den modernen Brücken muss das Rohr in der Regel 30 – 50 cm unter die Unterkante der Überbaukonstruktion reichen. Sonst besteht die Gefahr, dass das abgeleitete Wasser, das im Winter auch aggressive Stoffe enthält, die Konstruktion besprüht. Der Durchmesser des Entwässerungsröhres sollte mindestens 150 mm betragen. Wenn der Ist-Zustand nicht den Anforderungen entspricht bzw. die Röhre zu kurz oder die Einlaufschächte verstopft sind, sind sofort Instandsetzungsmaßnahmen zu ergreifen.



Abb. 31: Brücke Bebresch auf der Autobahn Hemus: verstopfte Entwässerungseinrichtung<sup>55</sup>

### 3.1.4 Abdichtung

Damit kein Wasser in die Konstruktion eindringt, ist eine Dichtungsschicht vorzusehen. Sie stellt auch einen Schutz gegen chemische und physikalische Angriffe dar. In Verwendung sind verklebte Dichtungsschichten oder streichfähige Abdichtungen.



Abb. 32: Verlegung einer verklebten Dichtungsschicht<sup>56</sup>

<sup>55</sup> Archiv: Prof. D.Dimov

<sup>56</sup> Archiv: Amt für Straßeninfrastruktur Varna

An die Abdichtung werden folgende Anforderungen gestellt:

- Wasserundurchlässigkeit
- Beständigkeit gegen Tausalz, Öle, Fette und Säuren
- Alterungsbeständigkeit
- gute Haftung
- Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Einwirkungen
- einfacher Einbau
- geringer Erhaltungsaufwand
- Befahrbarkeit durch Fahrzeuge beim Einbau des Belags<sup>57</sup>

Typische Schäden an verklebten Dichtungsschichten entstehen bei der Ausführung dadurch, dass sich bei mangelhafter Verklebung Blasen bilden. Diese stellen einen Ausgangspunkt für eine Schadensentwicklung dar. Des Weiteren sollte man auf den Einbau des Asphalts achten, damit die Abdichtung mechanisch oder thermisch nicht beschädigt wird. Sie muss gegen eine Temperatur von mindestens 160°C beständig sein.

Ein wesentlicher Nachteil der streichfähigen Abdichtungen besteht darin, dass ein gleichmäßiges Bestreichen der Oberfläche sehr kompliziert zu erreichen ist. Solche Abdichtungen sind in der Regel als zusätzlicher Schutz der gefährdeten oder schwer zugänglichen Betonoberflächen anzuwenden.

### 3.1.5 Randbalken bzw. Gehsteig

Randbalken dienen zur Aufnahme des Fußgängerverkehrs und zur Befestigung der Schutzeinrichtungen (Leitschienen, Geländer). Sämtliche Kommunikationen (Leitungen, Kabeln) werden durch Rohre im Randbalkenkörper geführt. Diese Elemente werden in Ortbeton- oder Fertigteilbauweise ausgeführt.

Betone, die eine hohe Frostbeständigkeit aufweisen, sind für Randbalken gut geeignet. Das Schwinden von Beton muss bei der Ausführung berücksichtigt werden, um Risse zu vermeiden. Das Eindringen von Tausalzen, eine unzulässige Befahrung des Randbalkens mit Verkehrsmitteln und Probleme mit der Entwässerung können zu weiteren Schäden führen.

---

<sup>57</sup> vgl. Mehlhorn: Handbuch Brücken, Springer, 2007, S. 1022



Abb. 33: Schäden am Randbalken<sup>58</sup>

### 3.1.6 Schutzeinrichtungen – Leitschiene, Geländer

Das Geländer stellt eine Absturzsicherung dar und besteht aus Stahl. Die Leitschiene verhindert das Abkommen der Verkehrsmittel von der Fahrbahn und schützt die Fußgänger vor einem Fahrzeuganprall. Sie kann aus Betonfertigteilen oder aus Stahl ausgeführt werden.

Typische Schäden an Leitschienen und Geländern sind Anprallschäden oder Korrosionen. Abb. 34 zeigt ein Beispiel für Schäden an einer Brücke auf der Autobahn Hemus (km 380+780). Auf Abb. 35 ist eine fortschreitende Korrosion des Geländers bei der Brücke “Bebresch” auf der Autobahn Hemus deutlich zu sehen.



Abb. 34: Anprallschäden an Leitschienen<sup>59</sup>



Abb. 35: Brücke Bebresch: Korrosion des Geländers<sup>60</sup>

<sup>58</sup> Archiv: Unternehmen „Straßen und Brücken“ – Varna

<sup>59</sup> Archiv: Amt für Straßeninfrastruktur, Varna

<sup>60</sup> Archiv: Prof. D.Dimov

## 3.2 Schäden an den konstruktiven Elementen

Die konstruktiven Elemente bilden das Brückentragwerk. Das Tragwerk besteht aus dem Überbau, dem Unterbau und den Lagern. Als Überbau werden alle konstruktiven Teile der Brücke bezeichnet, die sich über dem Lager befinden. Die Elemente unter dem Lager bilden den Unterbau. Die Lager stellen die Verbindung zwischen dem Über- und dem Unterbau her.

### 3.2.1 Überbau

Zu den konstruktiven Elementen des Überbaus gehören u.a. die Fahrbahnplatte und die Haupt- bzw. Querträger.

Bei den Stahlbetonkonstruktionen ist das Zusammenwirken von Beton und Stahl für die Aufnahme der Schnittgrößen bzw. für die Gewährleistung der Tragfähigkeit nötig. Der Beton bildet für den Stahl einen dauerhaften Korrosionsschutz infolge seiner Alkalität. Auf die Dauerhaftigkeit der Konstruktion haben die konstruktive Durchbildung und die Materialeigenschaften des Betons einen wesentlichen Einfluss. Die Qualität des Betons hängt von dem Herstellungsprozess und seinem ordnungsgemäßen Einbau (Stand der Technik) ab. Als Kriterium für die Betonqualität gilt oft die Druckfestigkeit. Im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit eines Brückenbauwerks müssen auch noch andere Einflussfaktoren berücksichtigt werden:

- das Kapillarvolumen
- die Luftdurchlässigkeit
- der Kalziumhydroxidgehalt
- die Rissefreiheit der Oberfläche<sup>61</sup>

Im Folgenden werden drei Arten von Schäden betrachtet, die die Eigenschaften des Betons verändern und zur Korrosion der Bewehrung führen. Dazu zählen die **Rissbildung**, die **Karbonatisierung** und der **Chloridgehalt** des Betons. Weiters wird auch die **Korrosion** näher untersucht.

#### **Risse im Beton:**

Beim Überschreiten der Zugfestigkeit treten Risse im Beton auf. Folgende Arten von Rissen und ihre Ursachen können unterschieden werden:

---

<sup>61</sup> vgl. Mehlhorn: Handbuch Brücken, Springer, 2007, S. 1010

- Spannungsrisse: Überschreiten der Betonzugfestigkeit, resultierend aus Lasten (auch aus der Vorspannung) und behinderter Verformung (Schwinden, Temperaturänderung, Auflagerverschiebung)
- Schrumpfrisse: Oberflächenaustrocknung des verarbeiteten Frischbetons
- Hydratationsrisse: Oberflächenabkühlung des infolge der Hydratation erwärmten Betons
- Korrosionssprengrisse: Volumenvergrößerung der Bewehrung bei Korrosion
- Frostsprengrisse: Volumenvergrößerung des Wassers bei der Änderung des Aggregatzustands infolge Eisbildung<sup>62</sup>

Die Ursachen für Risse sind also vielseitig und häufig wirken mehrere Einflüsse zusammen.

In allen Fällen sind Rissbreiten von mehr als 0,4 mm unzulässig, weil dadurch ein ausreichender Korrosionsschutz der Bewehrung nicht mehr gewährleistet ist. Dieser Umstand könnte eine unmittelbare Gefährdung für die Konstruktion darstellen.

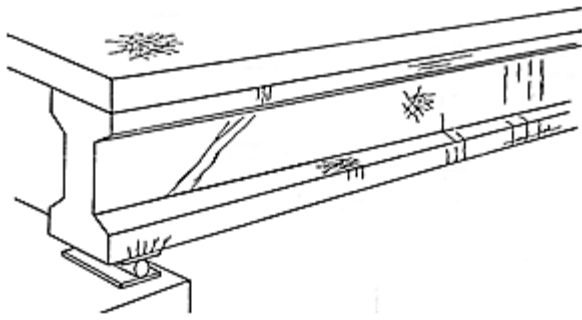
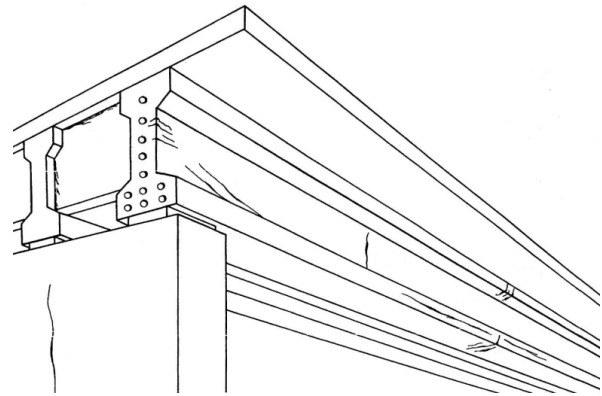
Mögliche Risse bei Stahlbeton- bzw. Spannbetonelementen sind tabellarisch zusammengefasst und werden durch Bilder veranschaulicht.

|                              | Schadensart         | Stelle              | Ursache   |
|------------------------------|---------------------|---------------------|---|
| <b>Stahlbetonelemente</b>    | Längsrisse          | Druckzone           | Biegebeanspruchung  |
|                              | Querrisse           | Zugzone             | Biegebeanspruchung  |
|                              | Schräge Risse       | Stützstellen        | Biegebeanspruchung  |
|                              | Konzentrierte Risse | Lagerbereich        | Spaltzugkräfte  |
| <b>Vorgespannte Elemente</b> | Längsrisse          | Spanngliedverlauf   | Korrosionsdruck, Frostwirkung aus wassergängigen Spannkanälen |
|                              | Konzentrierte Risse | Verankerungsstellen | Spaltzugkräfte  |
|                              | Konzentrierte Risse | Lagerbereich        | Spaltzugkräfte  |

Tabelle 6: Arten von Rissen<sup>63</sup>

<sup>62</sup> vgl. Mehlhorn: Handbuch Brücken, Springer, 2007, S. 1011

<sup>63</sup> Amt für Straßeninfrastruktur: Vorschriften für Überwachung und Erhaltung von Straßenbrücken und Durchlässen, 1993, S. 20 – 23; übersetzt und adaptiert

Abb. 36: Risse bei Stahlbetonelementen<sup>64</sup>Abb. 37: Risse bei Spannbetonelementen<sup>65</sup>Abb. 38: Brücke Autobahn Trakija (km 67): schräge Risse im Stützbereich<sup>66</sup>

### Chloridgehalt:

Chloride verbessern die Leitfähigkeit von Elektrolyten und so wird die laufende Korrosion im karbonatisierten Bereich des Betons erheblich beschleunigt. Sie gelangen infolge des Tausalzeinsatzes, während der kalten Jahreszeit, an den Beton. Häufige Durchfeuchtungen einzelner Bauteile oder Schwachstellen in der Konstruktion wie Risse im Beton, mangelhafte Betondeckung oder Betonierfehler führen unter Chlorideinwirkung zu einer beschleunigten Korrosion des Bewehrungsstahls.<sup>67</sup>

### Karbonatisierung:

Das Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ) in der Luft ist äußerst aggressiv gegenüber dem Beton. Es reagiert mit dem im Porenwasser des Betons gelösten Kalziumhydroxid  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  und daher bil-

<sup>64</sup> Detschev, Georgiev: Vorlesungen zur LVA Erhaltung und Sanierung von Brücken, Sofia, 2007

<sup>65</sup> Detschev, Georgiev: Vorlesungen zur LVA Erhaltung und Sanierung von Brücken, Sofia, 2007

<sup>66</sup> Archiv: Prof. D. Dimov

<sup>67</sup> Mehlhorn: Handbuch Brücken, Springer, 2007, S. 1012-1014

det sich Kalziumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ). In unkarbonatisiertem Zustand weist der Zementstein einen hohen pH-Wert in den Grenzen von 12,5 bis 12,8 auf.<sup>68</sup> Durch die Karbonatisierung sinkt der pH-Wert bis unter 9 (bei vollständiger Karbonatisierung auf 8,3), wobei die Korrosionsschutzwirkung des Betons durch Depassivierung der Stahloberfläche verloren geht. Der Beton selbst wird durch diesen Prozess nicht geschädigt. Infolge der fortschreitenden Karbonatisierung des Betons ergeben sich gut messbare Karbonatisierungsfronten. Sie wandern in das Betoninnere vor, bis sich zwischen dem eindiffundierenden Kohlendioxid und dem aus dem Inneren zugeführten Kalziumhydroxid ein Gleichgewicht einstellt.

Wesentliche Einflussfaktoren für die Karbonatisierung stellen die Betoneigenschaften und die Umgebungsbedingungen dar. Zu den Betoneigenschaften zählen in erster Linie die Zusammensetzung des Betons (eine optimale Sieblinie der Zuschlagstoffe und ein möglichst niedriger Wasserzementwert) und die Dichtigkeit, die durch eine fachgerechte Nachbehandlung garantiert wird. Die Bildung von Kalziumkarbonat ist vom Feuchtigkeitsgehalt des Betons stark abhängig. Relative Luftfeuchten zwischen 50 und 70% sind günstig für die Karbonatisierung. Außerdem sind regengeschützte Flächen für eine Karbonatisierung anfälliger als solche, die dem Regen stärker ausgesetzt sind.<sup>69</sup>

### **Korrosion der Bewehrung:**

Unter Korrosion versteht man den, an der Oberfläche beginnenden, zersetzenden Abbau des Stahls unter äußeren Einflüssen. Feuchtigkeit und Anwesenheit von Sauerstoff sind die Voraussetzungen für die Rostbildung. Infolge der rostverhindernden chemischen Eigenschaften des Betons bleibt die Stahloberfläche passiviert. Eine stabile Passivschicht aus Eisenhydroxid bildet sich auf der Stahloberfläche. Im Prinzip stellt diese Passivschicht ein Korrosionsprodukt dar. Durch die hohe Alkalität des Porenwassers im Beton wird aber die anodische Auflösung und somit die Korrosion praktisch verhindert. Korrosionsvorgänge können erst dann stattfinden, wenn die Karbonatisierung bis zur Bewehrung vorgedrungen ist oder wenn ein kritischer Chloridgehalt erreicht wurde. Der Korrosionsschutz kann auch durch mechanische Verletzung (Verlust der Betondeckung, z.B. infolge eines Anprallschadens) verloren gehen. Andere Voraussetzungen für die Rostbildung aus dem Bereich der Chemie werden in der weiteren Folge nicht betrachtet.<sup>70</sup>

---

<sup>68</sup> Radenkova – Yaneva: Chemie im Bauwesen, Verlag UACG, Sofia, 2004, S. 256

<sup>69</sup> vgl. Mehlhorn: Handbuch Brücken, Springer, 2007, S. 1014 - 1015

<sup>70</sup> Mehlhorn: Handbuch Brücken, Springer, 2007, S. 1015



Die Korrosionsprodukte weisen ein vielfach größeres Volumen als die Ausgangsstoffe der Reaktion auf. Diese Volumenvergrößerung führt zu Abplatzungen der Betonoberfläche, zu einer Festigkeitsminderung oder zu einer völligen Zerstörung des betroffenen Betons. Außerdem geht die Haftung zwischen Beton und Bewehrungsstahl verloren. Bei einer Überwachung zeigt sich unter der Betondeckung eine fortgeschrittene Korrosion des Bewehrungsstahls.<sup>71</sup>

Zusammenfassend sind für den guten Schutz der Stahleinlagen erfahrungsgemäß ein gut verdichteter Beton, eine ausreichende Betondeckung und eine Begrenzung der Rissbreiten von enormer Wichtigkeit.



Abb. 39: Brücke Autobahn Trakija (km. 67): Korrosion der Bewehrung<sup>72</sup>

### 3.2.2 Unterbau

Die Elemente des Unterbaus (Widerlager, Stützen und Pfeiler) bestehen hauptsächlich aus Stahlbeton. In diesem Zusammenhang sind die auftretenden Schäden und Schadensursachen größtenteils ähnlich den bereits im vorigen Kapitel beschriebenen. Einige spezifische Schäden und Schadensursachen werden im Folgenden aufgelistet:

- mangelhafte Betondeckung, Betonabplatzungen (siehe Abb. 40): mangelhafte Ausführung, Anprall, abrasive Wirkung der Wasserströmung, Schwankungen im Wasserstand
- Risse: ungenügende Planung im Hinblick auf Berücksichtigung aller möglichen Einwirkungen, Erdbeben, Stützensenkung
- unzulässige Deformationen mit Auswirkungen auf den Überbau, Verschiebungen in horizontaler Richtung bzw. Rotation (siehe Abb. 41): mangelhafte hydraulische Bemessung, Hochwasserereignisse, Anprall, Stützensenkung<sup>73</sup>

<sup>71</sup> Radenkova – Yaneva: Chemie im Bauwesen, Verlag UACG, Sofia, 2004, S. 258

<sup>72</sup> Archiv: Prof. D. Dimov



Abb. 40: Brücke Autobahn Trakija (km. 67): Betonabplatzungen und Korrosion der Bewehrung bei Brückenstützen<sup>74</sup>

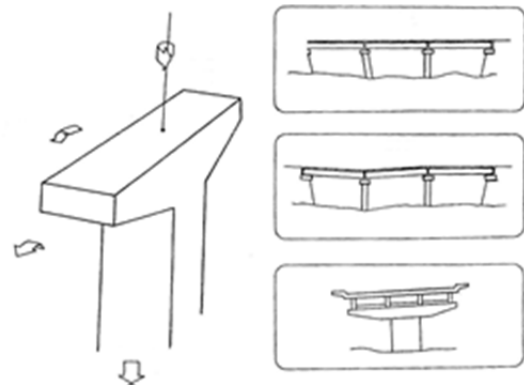


Abb. 41: Deformationen der Brückenstützen: Auswirkungen auf die ganze Konstruktion<sup>75</sup>

### 3.2.3 Lager

Lager sind Bauelemente, die die Lasten aus Eigengewicht und Verkehr aufnehmen und vom Überbau auf den Unterbau übertragen. Weiters ermöglichen sie gewisse Bewegungen der Brückenkonstruktion. Weiters sind Lager (auch Vorrichtungen gegen Erdbebeneinwirkungen) hochwertige Elemente, die während einer Nutzungsdauer stark beansprucht werden.<sup>76</sup> Verschleißerscheinungen und Korrosion sind unumgänglich. Ein typischer Schaden an einem Lager stellt die Ausschöpfung des Bewegungsvermögens dar (Abb. 42).



Abb. 42: Brücke Bebresch: Korrosion und Ausschöpfung des Bewegungsvermögens bei einem Rollenlager<sup>77</sup>

<sup>73</sup> Detschev, Georgiev: Vorlesungen zur LVA Erhaltung und Sanierung von Brücken, Sofia, 2007

<sup>74</sup> Archiv: Prof. D. Dimov

<sup>75</sup> Detschev, Georgiev: Vorlesungen zur LVA Erhaltung und Sanierung von Brücken, Sofia, 2007

<sup>76</sup> Mehlhorn: Handbuch Brücken, Springer, 2007, S. 470

<sup>77</sup> Archiv: Prof. D. Dimov

## 4 Brückensanierung und -verstärkung

Unter **Instandsetzung** oder **Sanierung** versteht man die Summe aller Maßnahmen, durch die bekannte Mängel oder Schäden so beseitigt werden, dass sowohl die Dauerhaftigkeit als auch die Zuverlässigkeit der Brücke wieder voll hergestellt ist.<sup>78</sup>

Im Gegensatz dazu versteht man unter **Brückenverstärkung** die Summe aller Maßnahmen, welche zur Erhöhung der vorhandenen Tragfähigkeit einer Brückenkonstruktion – auch bedingt durch eine Nutzungsänderung – dient.<sup>79</sup>

Große Instandsetzungsmaßnahmen erfordern eine sorgfältige Zustandserfassung. Aufgrund der Ergebnisse der Zustandserfassung wird ein Instandsetzungskonzept für die Konstruktion erstellt. In vielen Fällen sind Sanierungs- und Verstärkungsmaßnahmen zusammenhängend zu betrachten. Während der Durchführung von umfangreichen Sanierungsarbeiten ist es meist nötig ein neues Verkehrskonzept einzuführen. Die Ausführung kann z.B. schrittweise erfolgen, indem eine Hälfte der Brücke (z.B. ein Fahrstreifen) gesperrt und die andere Hälfte für den Verkehr geöffnet bleibt. Im Rahmen der Instandsetzung kann der gesamte Oberbau (funktionale Elemente) oder nur die Asphaltdecke ersetzt werden. Dieser Umstand ist zustandsabhängig zu betrachten. Die folgenden Bilder (Abb. 43-46<sup>80</sup>) veranschaulichen die Reihenfolge der Instandsetzungsmaßnahmen.



Abb. 43: Zerstörung des alten Fahrbahnbelags



Abb. 44: Errichtung eines neuen Randstreifens

<sup>78</sup> vgl. Mehlhorn: Handbuch Brücken, Springer, 2007, S. 1069

<sup>79</sup> vgl. Mehlhorn: Handbuch Brücken, Springer, 2007, S. 1069

<sup>80</sup> Archiv: Amt für Straßeninfrastruktur, Varna



Abb. 45: Neue Abdichtung und Asphaltdecke

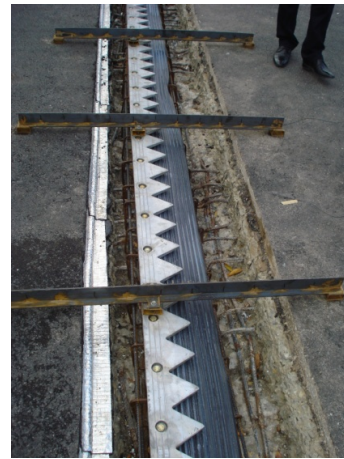


Abb. 46: Neue Übergangskonstruktionen

In diesem konkreten Fall besteht die Brücke aus zwei voneinander getrennten Konstruktionen. Die Sanierung erfolgt separat für jede Konstruktion.

Zeitabstände, in denen Sanierungs- oder Verstärkungsmaßnahmen durchzuführen sind, sind erfahrungsgemäß 15 bis 25 Jahre, abhängig von dem Niveau der Überwachung und Erhaltung, von der Dauerhaftigkeit der verwendeten Werkstoffe oder von der Plannutzungsdauer. Die Instandsetzungszyklen weisen eine recht große Bandbreite auf. Deshalb muss die Instandsetzung zustandsorientiert erfolgen.<sup>81</sup>

Sanierungsmaßnahmen erfordern eine gründliche Planung und Vorbereitung. In der Regel ist für jedes Projekt eine anforderungsgerechte Individuallösung zu entwickeln. Viele Unternehmen mit Erfahrungen im Bereich der Instandsetzung und Verstärkung von Bauwerken bieten qualitativ hochwertige und innovative Produkte an. Vorgehensweisen für bereits verwirklichte Projekte in Bulgarien werden im fünften Kapitel erläutert. Folgend werden nun die grundlegenden Schritte bei der Durchführung von Sanierungs- und Verstärkungsmaßnahmen an Stahlbetonelementen beschrieben.

## 4.1 Brückensanierung

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Verfahrensweise bei der **Vorbereitung** und der **Durchführung** von Sanierungsmaßnahmen. Welche Einflussfaktoren zu berücksichtigen sind bzw. welche Methoden und Materialien zum Einsatz kommen, werden genauer betrachtet.

---

<sup>81</sup> Simandl: Nutzungsdauern von Eisenbahnbrücken; Dissertation, Wien, 2011, S. 199, 200

### 4.1.1 Vorbereitende Maßnahmen

Am Betonuntergrund und am Bewehrungsstahl sind vorbereitende Maßnahmen zu ergreifen. Sie haben auf die Dauerhaftigkeit der Instandsetzungsmaßnahme einen großen Einfluss.

Der Haftverbund zwischen dem Betonuntergrund und dem aufgetragenen Material wird durch eine fachgerechte Vorbehandlung des Betons gewährleistet. Diese beinhaltet das Säubern des Betonuntergrunds von Staub, losen Teilen oder stehendem Wasser, das Reinigen der Betonoberfläche von eventuell vorhandenen Anstrichen und Beschichtungen, Schalölresten oder Nachbehandlungsmitteln, das Entfernen von Zementschlämmen und Schichten geringer Festigkeit, den Abtrag von schadhaftem Beton sowie das Entrosten freigelegter Bewehrungsstäbe. Zur Vorbehandlung des Betonuntergrunds vor der eigentlichen Instandsetzungsmaßnahme steht eine Reihe von groben und feinen Verfahren zur Verfügung.<sup>82</sup> In der folgenden Tabelle wird ein Überblick über diese Verfahren gegeben.

|                        | Verfahren   | Zu verwendendes Gerät bzw. Behandlungsmittel | Zweck  |
|------------------------|---|--|--|
| <b>Feine Verfahren</b> | Hochdruckreinigung                                    | Hochdruckreiniger (beheizt oder unbeheizt)   | Entfernen von Verschmutzungen und Bewuchs  |
|                        | Hochdruckwasserstrahlen mit 100-1000 bar              | Strahlgerät, Wasser                          | Entfernen von Beschichtungen und Schichten geringer Festigkeit   |
|                        | Hochdruckwasserstrahlen mit 1000-3000 bar             | Strahlgerät, Wasser                          | Abtrag von chloridhaltigem Beton   |
|                        | Sandstrahlen  | Strahlgerät, Strahlmittel trocken            | Entfernen von Beschichtungen; Entrosten der Bewehrung  |
|                        | Kugelstrahlen   | Strahlgerät, Strahlkugeln                    | Entfernen von Beschichtungen auf horizontalen Flächen  |
|                        | Druckluftstrahlen mit festen Strahlmitteln und Wasser | Strahlgerät, Strahlmittel feucht             | Entfernen von Beschichtungen   |
| <b>Grobe Verfahren</b> | Fräsen  | Fräsmaschine                                 | Tiefreichender Abtrag des Betons   |
|                        | Stemmen   | Meißel                                       | Tiefreichender Abtrag des Betons; Freilegen der Bewehrung  |
|                        | Flammstrahlen   | Flammstrahlbrenner, Acetylen und Sauerstoff  | Entfernen organischer Verschmutzungen wie Öl, Bitumen und Gummireste; Tiefreichender Abtrag des Betons; Freilegen des groben Zuschlags |

Tabelle 7: Verfahren zur Vorbehandlung des Betonuntergrunds<sup>83</sup>

<sup>82</sup> vgl. Mehlhorn: Handbuch Brücken, Springer, 2007, S. 1071

<sup>83</sup> vgl. Mehlhorn: Handbuch Brücken, Springer, 2007, S. 1072

Grobe Verfahren eignen sich zum tiefreichenden Abtrag des Betons. Das Flammstrahlen dient auch zum Entfernen von Farbresten, Ölen und Bitumen. Durch die feinen Verfahren wird eine leichte Oberflächenrauigkeit erreicht und die Oberflächenzugfestigkeit erhöht. Die erforderliche Beschaffenheit des Betonuntergrunds hängt von folgenden Eigenschaften ab:

- Anforderungen der Instandsetzungsmaßnahme
- Wasseraufnahme
- Rauigkeit der Oberfläche
- Druckfestigkeit
- Oberflächenzugfestigkeit
- Elastizitätsmodul
- Feuchtigkeit und Temperatur
- Karbonatisierung
- Chloridgehalt

Die Vorbehandlung des Bewehrungsstahls erfolgt in drei Schritten: Freilegen der Bewehrung, Entrosten der Bewehrung und Beschichten der Bewehrung. Der Korrosionsgrad und die gewählte Sanierungsmaßnahme sind von großer Bedeutung.

Korrodierte Bewehrung muss auch im nicht korrodierten Bereich noch ca. 20 mm in Stabrichtung freigelegt werden. Karbonatisierter Beton muss bis maximal zur Oberfläche der ersten Bewehrungslage entfernt werden. Beton, in dem der kritische Chloridgehalt überschritten wird, muss auch hinter der Bewehrung abgetragen werden. Stark korrodierte Bewehrung wird durch eine Zugabebewehrung ersetzt.

Die Bewehrung kann durch Drahtbürsten, Sandstrahlen, Feuchtstrahlen oder Hochdruckwasserstrahlen entrostet werden. Die Wahl des Verfahrens hängt von den notwendigen Korrosionsschutzmaßnahmen ab. Das Entrosten kann auch an einzelnen Stellen händisch erfolgen.

Wenn die Betondeckung aus nicht karbonatisiertem und nicht chloridhaltigem Beton kleiner als die vorgeschriebene Betondeckung ist, ist eine Korrosionsschutzbeschichtung der Bewehrung vorzusehen. Die Korrosionsschutzbeschichtung erfolgt unmittelbar nach dem Entrosten der Bewehrung oder im schlimmsten Fall zwei bis drei Stunden nachher, weil die entrostete Bewehrung korrosionsanfällig ist. Die Adhäsion zwischen Beschichtung und Stahl wird an Ort und Stelle oder im Labor vor dem eigentlichen Aufbringen geprüft.<sup>84</sup> Als Korrosions-

---

<sup>84</sup> Topurov, Dimov, Georgiev, Petrov: Bericht; Zustandserfassung und Sanierungskonzept von Viadukten, UACG, 2012

schutzmittel kommen kunststoffmodifizierte Zementschlämme oder Beschichtungen aus Epoxidharzen zur Anwendung. Die kunststoffmodifizierten Zementschlämme haben den Vorteil, dass sie geringere Anforderungen an den Stahluntergrund in Bezug auf Reinheit und Feuchtegrad stellen. Bei Systemen aus kunststoffmodifizierten Zementschlämmen muss die Beschichtung in zwei Arbeitsgängen mit einer Mindestschichtdicke von 1 mm aufgetragen werden.<sup>85</sup>

## 4.1.2 Durchführung der Instandsetzungsmaßnahmen

Die wichtigsten Instandsetzungsmaßnahmen an Stahlbetonelementen sind das Füllen von Rissen, der Betonersatz und der Oberflächenschutz.

### 4.1.2.1 Füllen von Rissen

Das Auftreten von Rissen allein erfordert nicht zwangsläufig dringende Sanierungsmaßnahmen, ohne zuerst andere Umstände zu beurteilen, wie z.B. Tausalzbeanspruchung, Karbonatisierung, Rissbreite und –bewegung, Risstiefe, Betondeckung und –qualität, Chloridgehalt etc. Die präzise Bestandsaufnahme ist daher von entscheidender Bedeutung.

Es existieren zwei Verfahren bei der Füllung von Rissen und zwar die Tränkung und die Injektion. Bei der Tränkung werden die Risse drucklos gefüllt, während bei der Injektion der Prozess unter Druck erfolgt. Die Tränkung ist ein Verfahren, bei dem das Füllgut aus Epoxidharz drucklos aufgrund der Schwerkraft und der Kapillaraktivität in den Riss eindringt. Die Eindringtiefen sind vor allem von der Rissbreite abhängig.

Verschiedene Injektionssysteme zum Füllen von Rissen und Hohlräumen werden angeboten. „Bei der Injektion wird in den Riss eine schnell abbindende flexible Reaktionsharzmasse über Einfüllstutzen (Bohrpacker), die in einem Abstand von 100 bis 500 mm gesetzt werden, injiziert. Nachdem das Harz ausgehärtet ist, werden die Packer und das Verdämmmaterial entfernt und etwaige Bohrlöcher verspachtelt.“<sup>86</sup>

Das Füllen von Rissen erfüllt folgende Aufgaben:

- trockene oder wasserführende Risse schließen und Hohlräume vollständig füllen, um das Eindringen korrosionsfördernder Stoffe in das Bauteil zu verhindern
- kraftschlüssiges Verbinden beider Rissufer

---

<sup>85</sup> Mehlhorn: Handbuch Brücken, Springer, 2007, S. 1075

<sup>86</sup> vgl. Mehlhorn: Handbuch Brücken, Springer, 2007, S. 1076

- dehnfähiges Verbinden beider Rissufer<sup>87</sup>

#### 4.1.2.2 Instandsetzungssysteme (Betonersatz)

Normaler Beton, Spritzbeton, Zementmörtel mit oder ohne Kunststoffzusatz und Reaktionsharzmörtel zählen zu den Betonersatzsystemen. In Kombination mit Korrosionsschutzbeschichtungen, Haftbrücken zum Betonuntergrund und Oberflächenschutzsystemen bilden sie so genannte Instandsetzungssysteme. Die folgende Abbildung veranschaulicht ein typisches Instandsetzungssystem.

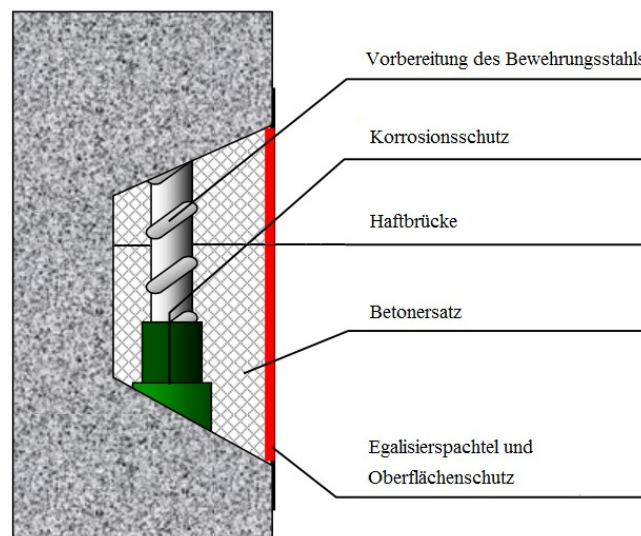


Abb. 47: Instandsetzungssystem<sup>88</sup>

Die Betonersatzsysteme unterscheiden sich durch ihre Beanspruchbarkeit. Es gibt vier Beanspruchungsklassen (M1 bis M4), die verschiedene Anforderungen erfüllen müssen und zwar:

- Widerstand gegen chemische Angriffe
- Karbonatisierungswiderstand
- Stabilität des pH-Werts beim Eindringen von Chloriden
- Einbaufertigkeit bei dynamischer Beanspruchung
- Befahrbarkeit
- Festigkeit
- Verschleißwiderstand

Folgend werden die unterschiedlichen Betonersatzsysteme genauer erläutert.

<sup>87</sup> Mehlhorn: Handbuch Brücken, Springer, 2007, S. 1076

<sup>88</sup> Sika Bulgarien: Werbematerial; übersetzt und adaptiert



**Beton:**

Wenn im Rahmen des Betonersatzes normaler Beton zum Einsatz kommt, muss man aufgrund der geringen Schichtdicken auf eine sorgfältige Nachbehandlung achten. Die Nachbehandlung sollte ungefähr fünf Tage dauern. Um eine gute Haftung am Untergrund zu garantieren, sollte vor dem Aufbringen des Betons eine Haftbrücke verwendet werden. Durch die Haftbrücke werden die Deformationskennwerte (E-Modul und Temperaturdehnung) zwischen altem und neuem Beton ausgeglichen.<sup>89</sup>

**Zementmörtel:**

Dasselbe gilt auch für den Zementmörtel. Dieser eignet sich zum Auffüllen von Betonabplatzungen oder Ausbessern von lokalen Fehlstellen und Kiesnestern.

Üblicherweise werden in der Praxis vorgefertigte Produkte verwendet. Kunststoffzusätze verbessern die Verarbeitbarkeit, das Rückhaltevermögen, die Dehnfähigkeit sowie die Haftfestigkeit des Betons oder Zementmörtels. Zusätzlich werden die Rissneigung und der E-Modul im Vergleich zu kunststofffreien Produkten vermindert.<sup>90</sup>

**Spritzbeton bzw. -mörtel:**

Spritzbetone und -mörtel bieten vielfältige Verwendungsmöglichkeiten an. Sie dienen zur Ergänzung des tragenden Betonquerschnitts, zur Oberflächeninstandsetzung oder zum Einspritzen zusätzlicher Bewehrung. Zur Anwendung kommen auch kunststoffmodifizierte Spritzbetone oder -mörtel, wenn die Betondeckung in größeren Bereichen erhöht werden muss. Eine Haftbrücke ist in diesem Fall nicht erforderlich. Kunststoffmodifizierter Spritzbeton hat sich für das Einspritzen dichter mehrlagiger Bewehrung und für die Applikation auf dynamisch beanspruchten Flächen bewährt.<sup>91</sup>

**Reaktionsharzmörtel:**

Reaktionsharzmörtel werden ausschließlich im oberflächennahen Bereich des Betons und nur kleinflächig eingesetzt. Sie haben den Vorteil, dass sehr dünne Betonersatzschichten hergestellt werden können. Außerdem ist bei Reaktionsharzmörteln keine Nachbehandlung erforderlich und sie zeichnen sich durch einen hohen Widerstand gegen chemische Angriffe aus.

---

<sup>89</sup> Topurov, Dimov, Georgiev, Petrov: Bericht; Zustandserfassung und Sanierungskonzept von Viadukten, UACG, 2012

<sup>90</sup> vgl. Mehlhorn: Handbuch Brücken, Springer, 2007, S. 1079

<sup>91</sup> vgl. Mehlhorn: Handbuch Brücken, Springer, 2007, S. 1080

### 4.1.2.3 Oberflächenschutzsysteme

Oberflächenschutzsysteme werden zum dauerhaften Schutz und zur optischen Gestaltung von Brückenbauwerken eingesetzt. Sie verfolgen folgende Ziele:

- Erhöhung der Widerstandsfähigkeit gegen Frost-Tausalzbeanspruchung und Karbonatisierung (oder Eindringen von Schadstoffen aus der Luft)
- Kontrolle der Feuchtigkeit
- Schutz gegen mechanische Beanspruchung

Der Oberflächenschutz kennt drei Methoden und zwar: die Imprägnierung, die Hydrophobierung und die Beschichtung.

#### **Imprägnierung:**

Die Imprägnierung reduziert die Oberflächenporosität des Betons und dadurch wird der Widerstand gegen chemischen Angriff und mechanische Beanspruchung erhöht. Die Wasseraufnahme der Betonoberfläche wird durch die Imprägnierung verringert.

#### **Hydrophobierung:**

Die Hydrophobierung stellt eine wasserabweisende Behandlung der Betonoberfläche dar. Daher wird die optische Gestaltung der Oberfläche nicht beeinflusst und die Betonporen werden nicht gefüllt. Durch die Hydrophobierung wird die Wasseraufnahme reduziert und damit auch die Aufnahme der in Wasser gelösten Schadstoffe. Dadurch werden die Verschmutzung der Betonoberfläche und der Befall durch Moose, Pilze und Algen vermindert. Es empfiehlt sich eine Hydrophobierung vor dem Aufbringen einer Beschichtung vorzunehmen.

#### **Beschichtung:**

Unter Beschichtung versteht man die Herstellung einer geschlossenen Schutzschicht. Sie besteht mindestens aus einer Grundierung und einer Oberflächenschutzschicht und weist eine Dicke von 0,1 bis 0,5 mm auf. Durch die Beschichtung werden verschiedene Eigenschaften des Betons beeinflusst. Dazu zählen u.a. die Wasseraufnahmefähigkeit, der Diffusionswiderstand, die Verschleißfestigkeit und die Chemikalienbeständigkeit.<sup>92</sup>

---

<sup>92</sup> Mehlhorn: Handbuch Brücken, Springer, 2007, S. 1082

## 4.2 Brückenverstärkung

Die Verstärkung umfasst konstruktive Maßnahmen, die folgende Ziele verfolgen:

- Erhöhung der vorhandenen Tragfähigkeit bedingt durch eine Erhöhung der Belastung bzw. der Erdbebensicherheit oder hervorgerufen durch eine Nutzungsänderung
- Gewährleistung der Tragsicherheit beeinträchtigt durch Alterung, Korrosion, Anprall, Brand, Erdbeben etc.
- Verbesserung der Gebrauchstauglichkeit
- Übereinstimmung mit den geltenden Normen

Zur Verstärkung von Brückenkonstruktionen stehen verschiedene Methoden in Abhängigkeit von den statischen, herstellungs- und nutzungsbedingten Anforderungen zur Verfügung:

- Querschnittsergänzung in der Zug- und/oder Druckzone mit Beton, Stahl, Kunststoffen (Kohlenstofffasern) oder einer Kombination der Materialien
- Querschnittsergänzung der Schubbewehrung mit Stahl oder Kunststoffen (Kohlenstofffasern)
- externe Vorspannung
- Verfestigung durch partiellen Austausch des Betons oder Injektion von Hohlräumen und Rissen
- Änderung des Tragsystems<sup>93</sup>

Im Folgenden werden die wichtigsten Methoden beschrieben.

### 4.2.1 Geklebte Kohlenstofffaserverbundwerkstoffe

Die nachträgliche Verstärkung mit Kohlenstofffaserverbundwerkstoffe (CFK-Lamellen) hat sich in den letzten Jahren durchgesetzt bzw. bewährt. Das Verstärken von Bauwerken mit Stahllamellen ist seit langer Zeit bekannt. Sie wurden aber durch die Markteinführung der CFK-Lamellen langsam verdrängt.<sup>94</sup> CFK-Lamellen haben wesentliche Vorteile gegenüber den Stahllamellen. Die wichtigsten von diesen werden in der folgenden Tabelle gezeigt.

---

<sup>93</sup> vgl. Mehlhorn: Handbuch Brücken, Springer, 2007, S. 1085

<sup>94</sup> Mehlhorn: Handbuch Brücken, Springer, 2007, S. 1088

| Charakteristik               | CFK-Lamellen                              | Stahllamellen            |
|------------------------------|---|--------------------------|
| Zugfestigkeit                | Sehr hoch                                 | Gut                      |
| Ermüdungsbeständigkeit       | Sehr hoch                                 | Gut                      |
| Korrosionswiderstand         | Keine Korrosion                           | Korrosionsanfällig       |
| Eigengewicht                 | Gering                                    | Groß                     |
| Lieferung                    | In Rollen transportierbar                 | Schwer – starre Lamellen |
| Lieferlänge                  | Praktisch unbegrenzt – keine Montagestöße | Begrenzt                 |
| Montage                      | Einfach (händisch)                        | Kompliziert              |
| Materialkosten/Montagekosten | Hoch/niedrig                              | Niedrig/hoch             |

Tabelle 8: Vergleich - CFK-Lamellen und Stahllamellen<sup>95</sup>

Die konstruktiven Schwierigkeiten und Merkmale der Stahllamellen haben zur Folge, dass die CFK-Lamellen nicht nur als eine alternative Lösung, sondern auch als eine effektive Standardlösung für Bauwerksverstärkung vorwiegend eingesetzt werden. Außer den zuvor genannten Eigenschaften der CFK-Lamellen ist der Widerstand gegen Säuren, Basen und UV-Strahlen zu erwähnen.

In der Praxis kommen zwei Arten von CFK-Flachprofilen zur Anwendung: CFK-Lamellen und CFK-Matten. Sie werden im so genannten Pultrusionsverfahren hergestellt.<sup>96</sup>

Die CFK-Lamellen eignen sich für eine schlaffe und vorgespannte Biegezugverstärkung sowie für Schubverstärkung von Stahlbeton- und Spannbetonkonstruktionen. Sie werden vor allem für die Querschnittsergänzung in der Zugzone des Betons eingesetzt. Für diesen Zweck sind CFK-Flachprofile anderen Stoffen wie Glas- und Poliamidfasern weit überlegen.

Die Tragfähigkeit und die Duktilität von Stützen können durch Umwicklung mit faserverstärkten Kunststoffen erhöht werden. Zur Verstärkung eignen sich am besten kreisförmige Stützen.<sup>97</sup>

Vor der Anbringung der CFK-Lamellen oder -Matten sind entsprechende Vorbereitungsmaßnahmen durchzuführen. Der Betonuntergrund muss gestrahlt, ausgeglichen und grundiert werden. Zum Ausgleich örtlicher Unebenheiten kommt ein Ausgleichsmörtel zur Anwendung. Zur Grundierung werden Epoxidharze verwendet, damit der Klebstoff vom Betonuntergrund nicht aufgesaugt wird. Für die Verklebung stehen verschiedene Klebstoffsysteme auf Epoxidharzbasis zur Verfügung. Für eine sichere Verklebung sind Voraussetzungen wie eine

<sup>95</sup> Sika: Produktkatalog Bulgarien; verändert und adaptiert

<sup>96</sup> Sika: Produktkatalog Deutschland

<sup>97</sup> Bergmeister, Wörner, Fingerloos: BetonKalender, John Wiley & Sons, 2008, S. 222,223

saubere Betonoberfläche, Vermeidung von Lufteinschlüssen und das Anstreben einer gleichmäßigen Dicke der Klebschicht zu erfüllen.<sup>98</sup>



Abb. 48: CFK-Lamellenrolle (links); Aufbringen einer CFK-Matte (rechts)<sup>99</sup>



Abb. 49: Anbringung von CFK-Lamellen<sup>100</sup>

Abb. 50: Anbringung von CFK-Matten<sup>101</sup>

Beim Einsatz von Kohlenstofffaserverbundwerkstoffen ist darauf zu achten, dass alle verwendeten Materialien und Werkstoffe eine Zertifizierung besitzen und nur Produkte zum Einsatz kommen, die auch schon zusammen geprüft wurden. Im Hinblick auf die Qualitätssicherung müssen auch Einflussfaktoren wie Lufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Untergrundtemperatur etc. beachtet werden. In der Regel wird bei der Anwendung von Faserverbund-

<sup>98</sup> Bergmeister: Kohlenstofffasern im konstruktiven Ingenieurbau, John Wiley & Sons, 2003, S.32

<sup>99</sup> Links: Produktkatalog Sika; Rechts: <http://www.sika.com/en/sikasmart-redirect/solutions-for-projects/sika-solutions-for-bridge-refurbishment.html>

<sup>100</sup> Archiv: Prof. D. Kissov

<sup>101</sup> Archiv: Prof. D. Kissov

werkstoffen eine Schutzschicht aus Spritzbeton oder durch den Einsatz von Oberflächenschutzsystemen hergestellt.<sup>102</sup>

Bei der Bemessung von nachträglich mit CFK-Lamellen verstärkten Bauteilen ist zu berücksichtigen, dass aufgeklebte CFK-Lamellen ein sprödes Bruchverhalten aufweisen. Das verstärkte Bauteil kann bei Erreichen der Bruchlast ohne Vorankündigung versagen. Deshalb darf man die Schnittgrößen ausschließlich nach der Elastizitätstheorie ermitteln.<sup>103</sup>

CFK-Lamellen können auch vorgespannt ausgeführt werden. Durch die Vorspannung werden die Dehnungen der Stahlbewehrung verringert und die Durchbiegungen sowie die Rissbreiten reduziert.<sup>104</sup>

#### 4.2.2 Querschnittsergänzung

Aufgrund einer Nutzungsänderung oder Beeinträchtigung des Betons ist der vorhandene Betonquerschnitt nicht mehr imstande die auftretenden Kräfte abzuleiten. In diesen Fällen ist eine Verstärkungsmaßnahme im Sinne einer Querschnittsergänzung durchzuführen.

Die Verstärkung von Stahlbeton- bzw. Spannbetonkonstruktionen mit Spritzbeton gilt als Standardverfahren. Man unterscheidet zwischen Nass- und Trockenspritzverfahren. Beim Trockenspritzverfahren wird das Anmachwasser unmittelbar vor dem Austritt aus der Spritzdüse dem Mischgut beigegeben.<sup>105</sup> Im Gegensatz dazu wird beim Nassspritzverfahren das Wasser bereits im Mischer zugerührt. Zur Erhöhung der Duktilität können dem Spritzbeton Stahlfasern beigemischt werden.

Eine Querschnittsergänzung durch Anbetonieren mit konventioneller Schalung ist auch möglich. Dieses Verfahren kommt zum Einsatz, wenn keine Kraftübertragung durch Haftverbund notwendig ist. Durch Dübel (Erläuterung erfolgt auf den folgenden Seiten) kann eine bessere Übertragung von Schubkräften zwischen altem und neuem Beton erzielt werden. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Vorbereitung des alten Betonuntergrunds durch hartkornverzahnte Epoxidharzbeläge.

Häufig kommt eine Querschnittsergänzung bei vertikalen Elementen zum Einsatz. Wenn mehr als 10% von der tragenden Längsbewehrung korrodiert sind, ist die Tragfähigkeit des

---

<sup>102</sup> Topurov: Straßen- und Eisenbahnbrücken aus Stahlbeton, Band 2, ABC Technik, 2012, S. 894

<sup>103</sup> Mehlhorn: Handbuch Brücken, Springer, 2007, S. 1092

<sup>104</sup> Mehlhorn: Handbuch Brücken, Springer, 2007, S. 1091

<sup>105</sup> vgl. Mehlhorn: Handbuch Brücken, Springer, 2007, S. 1100

Elements beeinträchtigt. In diesem Fall ist eine Verstärkung erforderlich. Eine neue Längsbewehrung wird eingelegt und mit der alten Bewehrung verbunden und zwar so, dass die Überlappungslängen der neuen und der bestehenden Bewehrungsstäbe übereinstimmen. Ebenfalls wenn die Anforderungen an die Erdbebensicherheit nicht erfüllt sind, stellt eine Querschnittsergänzung eine mögliche Lösung dar.<sup>106</sup>

Bei der Verstärkung von vertikalen Elementen kommt eine umschnürende Bügelbewehrung zur Anwendung.<sup>107</sup> Bei Stützen mit einem Hohlquerschnitt muss die Dicke der Querschnittsergänzung mindestens 25 cm betragen. Die Vorbereitung des Betonuntergrunds kann, wie bereits im vorigen Kapitel (4.1.1.) beschrieben, erfolgen.<sup>108</sup> Es ist zu beachten, dass sich bei einer Querschnittsergänzung die Steifigkeit des verstärkten Bauteils erhöht. Wenn das System statisch unbestimmt ist, werden die Schnittgrößen aufgrund der Steifigkeitsänderung beeinflusst. Weiters kommt es bei statisch bestimmten Systemen zur Erhöhung der seismischen Kräfte.<sup>109</sup>

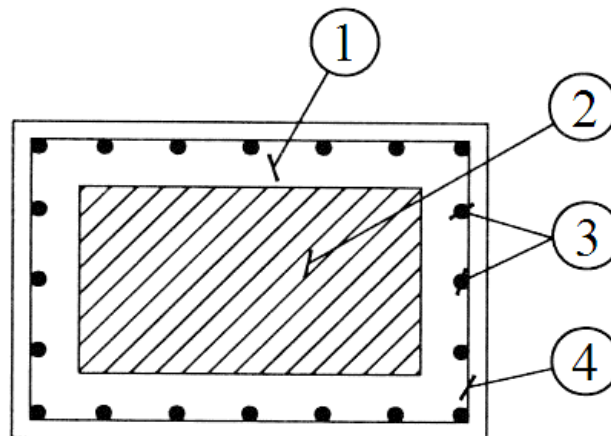


Abb. 51: Querschnittsergänzung einer rechteckigen Stütze: (1) Querschnittsergänzung (Beton), (2) bestehender Betonquerschnitt, (3) neue Längsbewehrung, (4) neue Bügelbewehrung<sup>110</sup>

Bei Riegeln (Pfeilerköpfen) kann ebenfalls eine Querschnittsergänzung zur Ausführung kommen. Pfeilerköpfe sind konstruktive Elemente des Unterbaus, die für die Aufnahme der seismischen Kräfte wichtig sind. Die Verstärkung erfolgt in der Regel auf beiden Seiten des Elements. Zur Gewährleistung eines besseren Verbundes zwischen altem und neuem Beton werden entsprechende Dübelverbindungen vorgesehen.

<sup>106</sup> Topurov, Dimov, Georgiev, Petrov: Bericht; Zustandserfassung und Sanierungskonzept von Viadukten, UACG, 2012

<sup>107</sup> Mehlhorn: Handbuch Brücken, Springer, 2007, S. 1102

<sup>108</sup> Topurov, Dimov, Georgiev, Petrov: Bericht; Zustandserfassung und Sanierungskonzept von Viadukten, UACG, 2012

<sup>109</sup> Ivantshev: Stahlbetonbrücken (Vorlesungen), Sofia, 2005, S. 187

<sup>110</sup> Ivantshev: Stahlbetonbrücken (Vorlesungen), Sofia, 2005, S. 187

Verankerungen mit Bewehrungsstäben werden als nachträgliche Bewehrungsanschlüsse bezeichnet. Nachträglich einbetonierte Bewehrungsstäbe dürfen als Dübel verwendet werden, sofern diese nach dem Stand der Technik bemessen werden. Bei der Bemessung werden folgende Annahmen getroffen und zwar, dass die Dübel Zug- und Querkräfte aufnehmen und der Verankerungsgrund im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit verbleibt, wenn der Anschluss bis hin zum Versagen belastet wird. Die Montage der nachträglichen Bewehrungsanschlüsse setzt sich aus fünf grundlegenden Schritten bzw. Etappen zusammen und zwar aus der Bohrlochherstellung, der Bohrlochreinigung, der Mörtelinjektion, dem Setzen der Bewehrungsstäbe und der Aushärtezeit. Nachdem das Bohrloch bis zu einer bestimmten Setztiefe durch Hammer-, Diamant- oder Pressluftbohren hergestellt worden ist, wird es ausgeblasen, ausgespült und ausgebürstet. Ins gereinigte Bohrloch wird dann ein spezieller Mörtel injiziert und der Bewehrungsstab wird mit leicht drehender Bewegung bis zur festgelegten Setztiefe eingeführt.<sup>111</sup>

Abb. 52 zeigt im Querschnitt einen Riegel. Die Dübelverbindung verläuft quer durch das Element. Sie verbindet die beiden Seiten der Querschnittsergänzung und die Längsbewehrung, die im Rahmen der Verstärkung nachträglich eingelegt wird. Eine solche Ausführung ist aber sehr kompliziert, weil die Pfeilerköpfe üblicherweise eine große Breite aufweisen.

Abb. 53 zeigt eine Verstärkung, bei der der gesamte Querschnitt des Riegels ergänzt wird. Diese Variante kommt bei wesentlich reduzierter Tragfähigkeit oder bei kleinen Querschnittsabmessungen des Pfeilerkopfs zur Anwendung. Die Ausführung der Dübelverbindungen auf Abb. 53 gilt als Standardverfahren für alle Querschnittsergänzungen.<sup>112</sup>

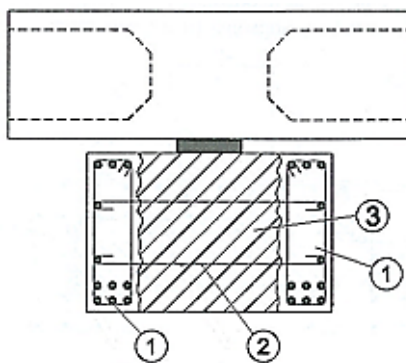


Abb. 52: Verstärkung eines Pfeilerkopfes: (1) Querschnittsergänzung, (2) Dübel, (3) alter Betonquerschnitt<sup>113</sup>

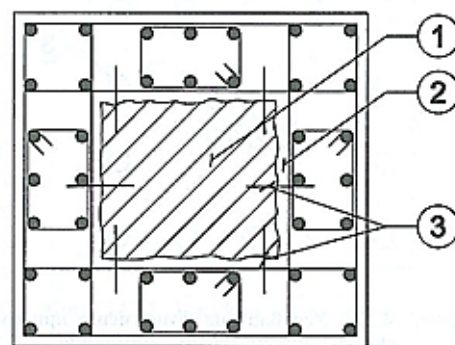


Abb. 53: Verstärkung eines Pfeilerkopfes: (1) alter Betonquerschnitt, (2) Querschnittsergänzung, (3) Dübel<sup>114</sup>

<sup>111</sup> Hilti Deutschland AG: Technisches Handbuch der Befestigungstechnik, 2012, S. 196 – 221

<sup>112</sup> Topurov: Straßen- und Eisenbahnbrücken aus Stahlbeton, Band 2, ABC Technik, 2012, S. 905

<sup>113</sup> Topurov: Straßen- und Eisenbahnbrücken aus Stahlbeton, Band 2, ABC Technik, 2012, S. 905



### 4.2.3 Externe Vorspannung

Stahlbeton- oder Spannbetonbalken können nachträglich vorgespannt werden. Dabei werden die Spannglieder außerhalb des Betonquerschnitts geführt.<sup>115</sup> Beim Kastenquerschnitt können die Spannglieder normalerweise auch innerhalb des Kastens geführt werden. Die externe Vorspannung hat den Vorteil, dass die Spannglieder relativ leicht kontrolliert und bei Bedarf nachgespannt bzw. ausgewechselt werden können. Für die externe Vorspannung ist ein entsprechender Korrosionsschutz vorzusehen.

Durch die externe Vorspannung kann sowohl die Biegetragfähigkeit, als auch die Querkrafttragfähigkeit beeinflusst werden. Des Weiteren wird eine Begrenzung der Durchbiegungen von Stahlbetonelementen erzielt. Dadurch können ebenso höhere Verkehrslasten aufgenommen oder die volle Tragfähigkeit geschädigter Konstruktionen wieder hergestellt werden.<sup>116</sup>

Die Erhöhung der Tragfähigkeit durch die externe Vorspannung ist daher für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit und weniger für den Grenzzustand der Tragfähigkeit maßgebend.

Eine externe Vorspannung kann auch vorläufig durchgeführt werden, wenn u.a. ein schweres Verkehrsmittel die Brücke passieren muss. In der Regel kann diese Vorspannung danach wieder entfernt werden.<sup>117</sup>

---

<sup>114</sup> Topurov: Straßen- und Eisenbahnbrücken aus Stahlbeton, Band 2, ABC Technik, 2012, S. 905

<sup>115</sup> Topurov: Straßen- und Eisenbahnbrücken aus Stahlbeton, Band 2, ABC Technik, 2012, S. 898

<sup>116</sup> Ivantshev: Stahlbetonbrücken (Vorlesungen), Sofia, 2005, S. 187

<sup>117</sup> Topurov: Straßen- und Eisenbahnbrücken aus Stahlbeton, Band 2, ABC Technik, 2012, S. 898

## 5 Praktische Beispiele aus Bulgarien

In diesem Kapitel werden praktische Beispiele aus Bulgarien angeführt. Die geographische Lage der betrachteten Brücken ist auf der folgenden Übersichtskarte dargestellt.

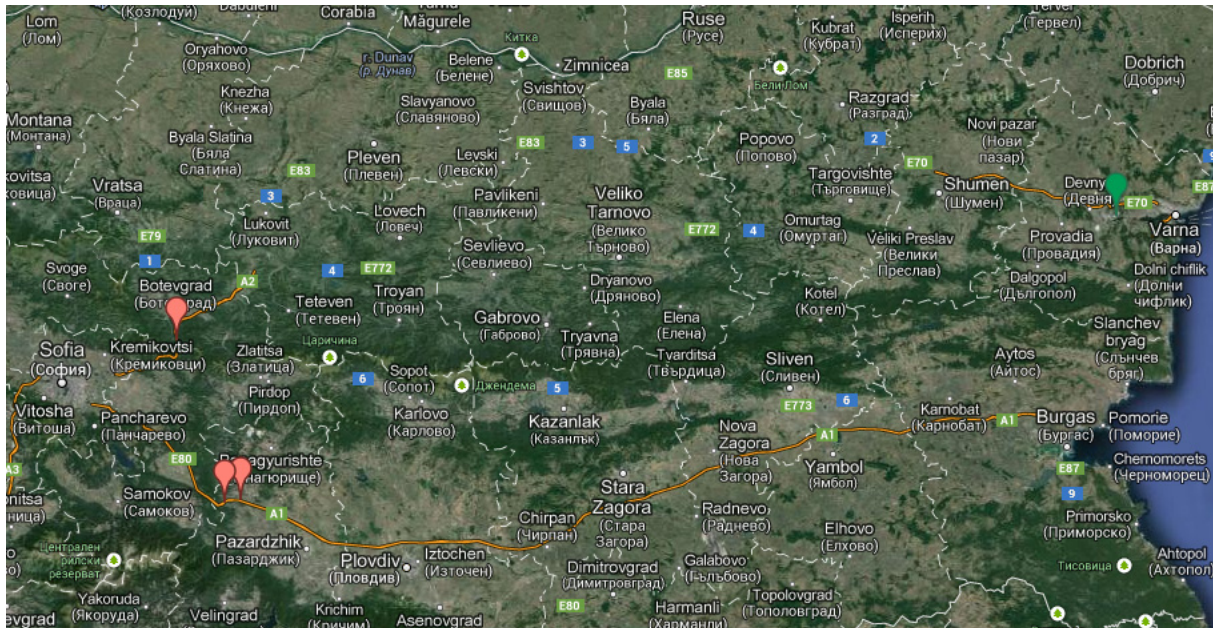


Abb. 54: Übersichtskarte: ROT – Schäden an Brücken, GRÜN – Instandsetzung von Brücken<sup>118</sup>

### 5.1 Beispiele für Schäden an Stahlbetonbrücken

Viele Brücken in Bulgarien befinden sich in schlechtem Zustand. Sie können ihre Plannutzungsdauer von 100 Jahren kaum erreichen. Folgende Ursachen sind hierfür hauptsächlich verantwortlich:

- mangelhafte Planung – unvernünftige Materialersparnis und schlechte Baustoffqualität; Planung nach Normen, die keinerlei Erhöhung der Verkehrsbelastung vorsehen
- mangelhafte Ausführung – niedrige Ausführungsqualität resultierend aus knappen Ausführungsterminen; geringe Qualifikation und wenig Kontrolle der Arbeitskräfte (besonders in den Zeiten des Sozialismus)
- **mangelhafte Erhaltung, Überwachung und Sanierung**

Eine systematische Erhaltung, Überwachung und Prüfung eines Brückenbauwerks ist aus wirtschaftlicher Sicht günstiger als die Durchführung von großen Sanierungsarbeiten. Diese

<sup>118</sup> <https://www.google.bg/maps>

sind bei manchen Brücken dringend durchzuführen, ansonsten droht schlimmstenfalls eine Einsturzgefahr bzw. eine komplette Sperrung.

Der Zustand der Brücken in Bulgarien stellt ein komplexes Problem dar. Ein aktives Brückenmanagementsystem, das wirksam die Arbeit der zuständigen Behörden (eventuell Computer gestützt) koordiniert, fehlt immer noch.<sup>119</sup> Aus diesem Grund ist ein Erhaltungs- bzw. Sanierungskonzept oder eine Dringlichkeitsreihung schwer zu erstellen. Die politische und die finanzielle Lage in Bulgarien macht die Situation wesentlich schwieriger. In den letzten Jahren und im Hinblick auf die EU-Mitgliedschaft Bulgariens stehen die Infrastruktur und ihr Zustand immer mehr im Vordergrund.

In einer Publikation von Prof. Markov, Prof. Minev und Prof. Dimov<sup>120</sup> werden die wichtigsten Schäden an Stahlbetonbrücken in Bulgarien auf der Basis von zahlreichen und langjährigen Überwachungen und Prüfungen aufgelistet:

- mangelhafte Erhaltung der Übergangskonstruktionen und des Fahrbahnbelags – führt zur Bildung von Schlaglöchern und Unebenheiten auf der Fahrbahn. Diese können des Weiteren Schwingungen und teilweise Resonanz verursachen.
- Eindringung von Enteisungsmitteln in die Konstruktion (hauptsächlich Sulfate und Sulfide)
- Schäden an funktionalen Elementen wie Geländer, Leitschienen und Gehsteige, stellen eine Gefahr für alle Verkehrsteilnehmer dar.
- mangelhafte oder geschädigte Betondeckung.

Im Folgenden werden Beispiele für Schäden an Brücken in Bulgarien betrachtet. Die Brücken befinden sich auf zwei Autobahnen (Hemus und Trakija) und sind von großer Bedeutung für die bulgarische Infrastruktur.

Die Autobahn **Hemus** befindet sich im nördlichen Teil Bulgariens und hat die Bezeichnung A2. Sie weist mit heutigem Stand eine Gesamtlänge von 163 km auf und ist als Verbindung zwischen der Hauptstadt Sofia und Varna vorgesehen.

Die Autobahn **Trakija** befindet sich im südlichen Teil Bulgariens und hat die Bezeichnung A1. Sie weist eine Gesamtlänge von 360 km auf. Die Autobahn ist ein Teil des Paneuropäischen Verkehrskorridors VIII und hat daher eine strategische Bedeutung.<sup>121</sup>

---

<sup>119</sup> <http://www.vsekiden.com/117883/60-mosta-u-nas-pred-ruhvane/>: Interview mit Prof. Topurov

<sup>120</sup> Markov, Minev, Dimov: Basic defects and damages on the concrete bridges in Bulgaria, Faculty of C. Eng. UACEG, Sofia

### 5.1.1 Beispiel 1: Viadukt Bebresch – km 30+874 – Autobahn Hemus



Abb. 55: Viadukt Bebresch: Luftaufnahme<sup>122</sup>



Abb. 56: Viadukt Bebresch: Ansicht<sup>123</sup>

#### Beschreibung der Konstruktion:

Das Viadukt Bebresch wurde im Jahre 1985 errichtet. Es besteht aus zwei Konstruktionen – eine für jede Fahrtrichtung. Die Brücke besteht aus zwölf Feldern mit folgenden Abmessungen: 57,0 + 10x59,0 + 57,0 m und weist eine Gesamtlänge von 720 m auf. Im Grundriss und im Längsprofil hat das Viadukt einen geradlinigen Verlauf. Die gesamte Fahrbahn weist eine Längsneigung von 1% und eine Querneigung von 2,5% auf.

Die Überbaukonstruktion wird durch eine Dilatationsfuge in zwei Abschnitte geteilt. Die Fahrbahnplatte verläuft in jedem Abschnitt durchgehend. An beiden Widerlagern gibt es keine Fugen. Zur Ausführung kam eine semi-integrale Konstruktion mit Rollenlagern und ohne Übergangskonstruktionen. In Längsrichtung besteht jede Konstruktion aus drei Doppel-T Fertigteilträgern mit breitem Obergurt und einer Höhe von 300 cm. Die Träger wurden nach dem Betonieren vorgespannt und so verlegt, dass sie nicht aneinander liegen. Die Fahrbahnplatte besteht aus Ortbeton. In Querrichtung sind vier Querträger vorgesehen und zwar zwei an den Stützen und zwei im Drittel der Felder. Die Brückenstützen wurden in Ortbetonbauweise ausgeführt. Sie weisen einen Hohlquerschnitt auf.<sup>124</sup>

<sup>121</sup> [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

<sup>122</sup> <https://www.google.bg/maps>

<sup>123</sup> <http://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Bebresh4.JPG>

<sup>124</sup> Topurov, Dimov, Georgiev, Petrov: Bericht; Zustandserfassung und Sanierungskonzept von Viadukten, UACG, 2012

Die Zustandserfassung des Viadukts wurde im Auftrag des Amtes für Straßeninfrastruktur durchgeführt. Daran beteiligten sich hochqualifizierte Spezialisten von der Universität für Architektur, Bauwesen und Geodäsie – Sofia.

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse<sup>125</sup> ist in der folgenden Tabelle dargestellt. Zusätzlich wird die Tabelle durch Bilder (Abb. 57-66<sup>126</sup>) veranschaulicht.

| Bereich                               | Schäden  | Verweis |
|---------------------------------------|--|---------|
| Überbau<br>(konstruktive<br>Elemente) | <b>Randbalken (Untersicht – konstruktiv):</b><br>feuchte Stellen, Karbonatisierung, Korrosion der Bewehrung  | Abb. 57 |
|                                       | <b>Hauptträger:</b>  | Abb. 58 |
|                                       | - <b>Obergurt:</b><br>rostfarbiger Wasserdurchtritt durch die Längsfugen zwischen den Obergurten der Hauptträger und der Ortbeton-Fahrbahnplatte   |         |
|                                       | - <b>Stützstelle:</b><br>horizontale Risse und Betonabplatzungen bei allen äußeren Hauptträgern; Rostfärbung infolge Korrosion der Tragbewehrung   | Abb. 59 |
|                                       | - <b>Untergurt:</b><br>Vertikale Risse an den Untergurten; abgeplatzte Betondeckung, Korrosion der Bügelbewehrung  |         |
|                                       | <b>Fahrbahnplatte:</b><br>abgeplatzte Betondeckung, korrodierte Bewehrung über den Stützen   |         |
|                                       | <b>Karbonatisierungstiefe:</b><br>in den äußeren Hauptträgern ungefähr 5-6 mm, in den inneren Hauptträgern 0-5 mm; Karbonatisierungstiefe kleiner als die vorhandene Betondeckung 20-25 mm |         |
|                                       | <b>Potentialfeldmessung:</b><br>erhöhte Korrosionswahrscheinlichkeit (insbesondere der Bügelbewehrung)   |         |
| Überbau<br>(funktionale<br>Elemente)  | <b>Übergangskonstruktion:</b><br>gut erhalten, Einstellung nötig   | Abb. 60 |
|                                       | <b>Fahrbahnbelag:</b><br>in gutem Zustand; Neigungen, Ebenheit in Ordnung; gegebenenfalls Schadstellen, Wellen, Spurrinnen   | Abb. 61 |
|                                       | <b>Randbalken:</b><br>abgebrochene Ränder, korrodierte Bewehrung   |         |
|                                       | <b>Geländer:</b><br>anfängliche Flächenkorrosion, gegebenenfalls Deformationen   | Abb. 62 |
|                                       | <b>Leitschiene:</b><br>großflächige Korrosion  | Abb. 62 |

<sup>125</sup> Topurov, Dimov, Georgiev, Petrov: Bericht; Zustandserfassung und Sanierungskonzept von Viadukten, UACG, 2012

<sup>126</sup> Archiv: Prof. Dimov

| Bereich            | Schäden   | Verweis                                  |
|--------------------|---|--|
| Unterbau und Lager | <b>Stütze:</b><br>abgeplatzte Betondeckung, abgeplatzter Beton hinter der Bewehrung, korrodierte vertikale Bewehrung, zerrissene Bügelbewehrung | Abb. 63                                  |
|                    | <b>Riegel und durchgehende Fahrbahnplatte:</b><br>Risse, Abplatzungen an den Ecken  | Abb. 64                                  |
|                    | <b>Karbonatisierungstiefe:</b><br>von 5 bis 35 mm; die Betondeckung gewährleistet keinen Korrosionsschutz der Bewehrung                         |  |
|                    | <b>Potentialfeldmessung:</b><br>erhöhte Korrosionswahrscheinlichkeit  |  |
|                    | <b>Lager:</b><br>- Beginnende Korrodierung, Ansammlung von Verunreinigungen<br>- Risse am Lagersockel<br>- Erschöpfung des Bewegungsvermögens   | Abb. 65<br>Abb. 66<br>Abb. 65<br>Abb. 66 |

Tabelle 9: Viadukt Bebresch: Zustandserfassung



Abb. 57: Randbalken: Abplatzungen



Abb. 58: Fahrbahnplatte: Wasserdurchtritt



Abb. 59: Hauptträger: Risse, Abplatzungen



Abb. 60: Dilatationsfuge



**Abb. 61: Fahrbahnbelag: Schadstellen**



**Abb. 62: Funktionale Elemente: Korrosion**



**Abb. 63: Stützen: Abplatzungen**



**Abb. 64: Riegel: Abplatzungen**



**Abb. 65: Lager: Erschöpfung des Bewegungsvermögens**



**Abb. 66: Lager und Lagersocket: Risse**

**Notwendige Instandsetzungsmaßnahmen:**

- Gewährleistung der notwendigen Erdbebensicherheit:
  - Infolge möglicher Erdbebeneinwirkungen entstehen in den bestehenden unbeweglichen Lagern große horizontale Reaktionen. Diese Reaktionen können nicht aufgenommen werden.
  - Alle Lager über Stützen müssen durch Elastomerlager ersetzt werden, wodurch eine Minderung der auftretenden horizontalen Kräfte erzielt wird. Einzige Ausnahme stellen die Lager im Bereich der Übergangskonstruktion dar. Dort sind bewegliche Lager anzuordnen, die nur Bewegungen in Längsrichtung ermöglichen. Die Lager an den Widerlagern werden nur saniert.
  - Zur Begrenzung der horizontalen Bewegungen müssen spezielle Einrichtungen (Anschläge, Schubnocken) eingebaut werden. Die Anordnung und die Anzahl der Einrichtungen hängen von der Art der Konstruktion ab.
- Schäden an Pfeilern:
  - Querschnittergänzung ist im Allgemeinen nicht erforderlich. Wenn im Zuge der Vorbereitung des Betonuntergrunds eine Korrosion der Längsbewehrung über 15% festgestellt wird, ist eine Querschnittergänzung durchzuführen.
  - Wenn über 10% der Bügelbewehrung korrodiert sind, ist eine Verstärkung mit CFK-Matten durchzuführen. Wenn im unteren Bereich der Pfeiler (in Höhe von 20 m) auch die Längsbewehrung korrodiert ist, kommen CFK-Lamellen und CFK-Matten zum Einsatz.
  - Bei allen Pfeilern werden Oberflächenschutzsysteme (Imprägnierung der Betonoberfläche) eingesetzt.
- Schäden an horizontalen Elementen und Elementen mit untenliegender Tragbewehrung:
  - Beseitigung der stehenden Schalungsplatten (siehe Kapitel 2.1.2) unter der Fahrbahnplatte
  - Verstärkung mit Spritzbeton oder geklebten Kohlenstofffaserverbundwerkstoffen
- In karbonatisierten Bereichen ohne Betonabplatzungen ist ein geeignetes Oberflächenschutzsystem zu verwenden.
- Für lokale Fehlstellen und Betonabplatzungen Zement- oder Reaktionsharzmörtel mit großer Festigkeit und Adhäsion verwenden.



- Entwässerungseinrichtungen sind zu entrostern, zu reinigen und mit einem Anstrich zu versehen.
- Geländer und Leitschienen sind zu ersetzen.
- Fahrbahnbelag, Abdichtung und Randbalken abbrechen und neu herstellen.
- Die Übergangskonstruktion ist gut erhalten und wird daher nicht ersetzt.
  - Sie muss vorsichtig demontiert und gereinigt werden.
  - Die Profile sind neu zu positionieren und einzustellen.
  - Im Rahmen der Zustandserfassung wurden keine schwere Schäden festgestellt.<sup>127</sup>

### 5.1.2 Beispiel 2: Viadukt Varschilata – km 61+327 – Autobahn Trakija



Abb. 67: Viadukt Varschilata: Luftaufnahme<sup>128</sup>



Abb. 68: Viadukt Varschilata: Ansicht

#### Beschreibung der Konstruktion:

Das betrachtete Viadukt wurde im Jahre 1982 errichtet. Es besteht aus zwei Einzelkonstruktionen. Jede Konstruktion hat insgesamt 13 Felder mit einer Spannweite von jeweils 37,5 m. Die Gesamtlänge der Brücke beträgt daher 525 m. Die Brücke wird durch vier Dilatationsfugen in drei Abschnitte unterteilt. Zwei Fugen befinden sich an den Widerlagern und zwei über den Brückenpfeilern in den Drittelpunkten. Das Viadukt weist einen geradlinigen Verlauf und eine Längsneigung von 2,5% auf. Die Gesamtbreite jeder Konstruktion beträgt 13,5 m.

Die Brücke stellt eine Plattenbalkenkonstruktion in Mischbauweise dar. Die Hauptträger wurden in einzelnen Segmenten in der Werkstatt angefertigt und auf der Baustelle vorgespannt. Die Montage erfolgte mittels Kran. Die Hauptträger sind 39 m lang. Die Fahrbahnplatte be-

<sup>127</sup> Topurov, Dimov, Georgiev, Petrov: Bericht; Zustandserfassung und Sanierungskonzept von Viadukten, UACG, 2012

<sup>128</sup> <https://www.google.bg/maps>

steht aus Fertigteilelementen mit einer Dicke von 20 cm, die mit den Hauptträgern monolithisch verbunden sind.

An den Dilatationsfugen befinden sich Rollenlager. Alle weiteren Lager wurden als Elastomerlager ausgeführt. Die Pfeiler weisen einen Hohlquerschnitt auf. Der Stützenkopf ist hammerkopfförmig ausgebildet. Die Brückenenden bestehen aus Widerlagern mit parallelen Flügeln. Die Elemente des Unterbaus bestehen aus Ortbeton.<sup>129</sup>

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Zustandserfassung<sup>130</sup> wird in der folgenden Tabelle dargestellt. Zusätzlich wird die Tabelle durch Bilder (Abb. 69-74<sup>131</sup>) veranschaulicht.

| Bereich  | Schäden  | Verweis |
|--|--|---------|
| <b>Überbau<br/>(konstruktive<br/>Elemente)</b> | <b>Vorgespannter Hauptträger:</b><br>in gutem Zustand  |         |
|  | <b>Fahrbahnplatte:</b><br>in gutem Zustand   |         |
|  | <b>Karbonatisierungstiefe:</b><br>- Untergurte der äußeren Hauptträger 15-20 mm<br>- Untergurte der inneren Hauptträger 10-20 mm<br>- Karbonatisierungstiefe kleiner als die vorhandene Betondeckung   |         |
|  | <b>Potentialfeldmessung:</b><br>erhöhte Korrosionswahrscheinlichkeit   |         |
| <b>Überbau<br/>(funktionale<br/>Elemente)</b>  | <b>Entwässerungseinrichtung:</b><br>Korrosion der Stahlrohre   | Abb. 74 |
|  | <b>Übergangskonstruktion:</b><br>wasserdurchlässig, korrodiert   |         |
|  | <b>Geländer und Leitschiene:</b><br>Korrosion  |         |
| <b>Unterbau und<br/>Lager</b>                  | <b>Fahrbahnbelag, Randbalken:</b><br>Schadstellen  | Abb. 69 |
|  | <b>Brückenpfeiler:</b><br>- untere Bereiche: Erosion des Betons<br>- Risse und Abplatzungen der Betondeckung, Korrosion der Bewehrung  |         |
|  | <b>Pfeilerkopf (Riegel):</b><br>- Abplatzungen (an einzelnen Pfeilern Tiefen von 60-80 mm.)<br>- fortgeschrittene Korrosion der Bewehrung<br>- abgebrochene Ränder sowie lokale Schäden<br>- Wasserdurchtritt durch die Fuge besprüht die Riegel |         |
|  | <b>Böschungскеil:</b><br>Abdeckung von Böschungскеilen zerstört  |         |

<sup>129</sup> Topurov, Dimov, Georgiev, Petrov: Bericht; Zustandserfassung und Sanierungskonzept von Viadukten, UACG, 2012

<sup>130</sup> Topurov, Dimov, Georgiev, Petrov: Bericht; Zustandserfassung und Sanierungskonzept von Viadukten, UACG, 2012

<sup>131</sup> Archiv: Prof. D. Dimov

| Bereich | Schäden   | Verweis |
|---------|---|---------|
|         | <b>Lager:</b><br>- Beginnende Korrodierung<br>- Erschöpfung des Bewegungsvermögens  | Abb. 72 |
|         | <b>Karbonatisierungstiefe:</b><br>- untere Bereiche der Pfeiler: 5-30 mm<br>- obere Bereiche der Pfeiler: 10-30 mm<br>- Pfeilerköpfe: 0-15 mm |         |
|         | <b>Potentialfeldmessung:</b><br>erhöhte Korrosionswahrscheinlichkeit  |         |

Tabelle 10: Viadukt auf der Autobahn Trakija: Zustandserfassung

### Notwendige Instandsetzungsmaßnahmen:

- Verstärkung von vertikalen Elementen durch Querschnittsergänzung
- Einsatz von Spritzbeton und anderen Instandsetzungssystemen für die Elemente mit Betonabplatzungen, fortgeschrittener Karbonatisierung und Korrosion der Bewehrung
- Anwendung von geeigneten Beschichtungen für alle karbonatisierten Bereiche
- Einsatz von Zement- und Reaktionsharzmörtel für Sanierung der kleinen Schadstellen
- Wiederherstellung der Abdeckung der Böschungskeile, Reinigung von Entwässerungsmulden
- Reinigung von Lagern durch Sandstrahlen und Ersatz der Schmierstoffe, Wiederherstellung der standardmäßigen Bewegung der Lager
- Sandstrahlen und Anstreichen von Stahlrohren, Reinigen von Entwässerungseinrichtungen
- Ersatz von Übergangskonstruktionen
- Ersatz von Fahrbelag, Randbalken, Abdichtung
- Sandstrahlen, Anstreichen und gegebenenfalls Ersatz von Leitschienen und Geländer<sup>132</sup>

<sup>132</sup> Topurov, Dimov, Georgiev, Petrov: Bericht; Zustandserfassung und Sanierungskonzept von Viadukten, UACG, 2012



**Abb. 69: Pfeiler: Abplatzungen**



**Abb. 70: Riegel: Abplatzungen**



**Abb. 71: Riegel: Spuren von Wasserdurchtritt**



**Abb. 72: Lager: Korrosion**



**Abb. 73: Böschungskiel: zerstörte Abdeckung**



**Abb. 74: Übergangskonstruktion: Korrosion**

### 5.1.3 Beispiel 3: Viadukt bei Tserovo – km 67+027 – Autobahn Trakija



Abb. 75: Viadukt bei Tserovo: Luftaufnahme<sup>133</sup>



Abb. 76: Viadukt bei Tserovo: Ansicht<sup>134</sup>

#### Beschreibung der Konstruktion:

Das Viadukt wurde im Jahre 1982 errichtet und befindet sich in der Nähe des Dorfs Tserovo. Es besteht aus zwei einzelnen Konstruktionen und hat 14 Felder mit einer Spannweite von jeweils 20,4 m. Die Gesamtlänge beträgt daher 285,6 m und die Gesamtbreite einer Fahrtrichtung beträgt 13,5 m. Eine Dilatationsfuge in der Mitte teilt die Brücke in zwei Abschnitte. Im Grundriss hat die Brücke einen geradlinigen Verlauf. Im Längsschnitt weist sie eine Wannenförmigkeit auf. Die Konstruktion besteht aus Fertigteilträgern und einer durchgehenden Fahrbahnplatte (Mischbauweise). Jedes Feld besteht aus 8 Fertigteilträgern aus Stahlbeton mit einer Höhe von 110 cm und einer Länge von 20 m. Die Träger sind in einem Achsenabstand von 160 cm verlegt. Die Fahrbahnplatte besteht aus einer Vorplatte mit einer Dicke von 5 cm und einer Ort betonplatte mit einer Stärke von 9 cm.

An den Stützen und an den Widerlagern sind Elastomerlager angeordnet. Die Pfeiler weisen einen Vollquerschnitt auf. Die Pfeilerköpfe sind hammerkopfförmig ausgebildet.<sup>135</sup>

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Zustandserfassung<sup>136</sup> wird in der folgenden Tabelle dargestellt. Zusätzlich wird die Tabelle durch Bilder (Abb. 77-84<sup>137</sup>) veranschaulicht.

<sup>133</sup> <https://www.google.bg/maps>

<sup>134</sup> Archiv: Prof. D. Dimov

<sup>135</sup> Topurov, Dimov, Georgiev, Petrov: Bericht; Zustandserfassung und Sanierungskonzept von Viadukten, UACG, 2012

<sup>136</sup> Topurov, Dimov, Georgiev, Petrov: Bericht; Zustandserfassung und Sanierungskonzept von Viadukten, UACG, 2012

<sup>137</sup> Archiv: Prof. D. Dimov

| Bereich                               | Schäden  | Verweis                       |
|---------------------------------------|--|-------------------------------|
| Überbau<br>(konstruktive<br>Elemente) | <b>Hauptträger:</b><br>- Stützbereich:<br>in kritischem Zustand, unzulässige schräge Risse<br>- Betonabplatzungen, fortschreitende Korrosion der Bewehrung   | Abb. 77<br>Abb. 79<br>Abb. 83 |
|                                       | <b>Platte:</b><br>Wasserdurchtritt (rostfarbig), Korrosion der Bewehrung   | Abb. 78                       |
| Überbau<br>(funktionale<br>Elemente)  | <b>Dilatationsfuge:</b><br>zerstört, einschließlich naheliegendem Fahrbahnbelag, Wasserundurchlässigkeit beeinträchtigt  | Abb. 80                       |
|                                       | <b>Fahrbahnbelag und Abdichtung:</b><br>in schlechtem Zustand  |                               |
|                                       | <b>Entwässerungseinrichtungen:</b><br>korrodierte, unzulässig kurze Stahlrohre   |                               |
| Unterbau und<br>Lager                 | <b>Brückenpfeiler:</b><br>- abgeplatzte Betondeckung, fortgeschrittene Korrosion der Bewehrung;<br>- Abplatzungen am Beton im bodennahen Bereich   | Abb. 81                       |
|                                       | <b>Pfeilerkopf (Riegel):</b><br>Betonabplatzungen, völlig zerstörte Betondeckung, fortgeschrittene Korrosion; ansonsten vertikale Risse an den Stellen der Bügelbewehrung, beginnende Korrodierung | Abb. 77<br>Abb. 82<br>Abb. 84 |
|                                       | <b>Auflagerbank:</b><br>vertikale Risse, beginnende Korrodierung der Bügelbewehrung  |                               |
|                                       | <b>Lager:</b><br>- Korrosion (Stahlplatten), große Verformungen<br>- Risse am Lagersockel  | Abb. 83                       |
|                                       | <b>Böschungскеil:</b><br>geschädigte Abdeckung   |                               |
|                                       | <b>Karbonatisierungstiefe (Pfeiler):</b><br>von 10-30 mm   |                               |
|                                       | <b>Potentialfeldmessung:</b><br>die Betondeckung stellt keinen Korrosionsschutz für die Bewehrung dar  |                               |

Tabelle 11: Viadukt auf der Autobahn Trakija: Zustandserfassung



Abb. 77: Hauptträger, Stützenkopf: Abplatzungen



Abb. 78: Fahrbahnplatte: Wasserdurchtritt



**Abb. 79: Hauptträger: schräge Risse**



**Abb. 80: Übergangskonstruktion: Korrosion**



**Abb. 81: Pfeiler: Abplatzungen**



**Abb. 82: Pfeilerkopf in kritischem Zustand**



**Abb. 83: Stützbereich: Risse, Abplatzungen**



**Abb. 84: Pfeilerköpfe: Abplatzungen, Korrosion**

### Notwendige Instandsetzungsmaßnahmen:

Die Mehrheit der Elemente des Überbaus ist in kritischem Zustand. Der Grenzzustand vieler Elemente ist erreicht. Ein Ersatz des gesamten Brückenüberbaus wäre in diesem Fall eine wirtschaftlichere Lösung. Folgende Gründe veranlassen dazu:

- Der Ersatz oder die Instandsetzung von einzelnen Hauptträgern, die sich in kritischem Zustand befinden, ist sehr aufwendig; daher entstehen große Unterschiede im Verformungsverhalten der einzelnen Felder
- Die Schadstellen sind nicht lokal, sondern an der gesamten Konstruktion verteilt
- Die Konstruktion ist aus konstruktiver Sicht sehr spezifisch. Bei der Fahrbahnplatte ist der Nachweis für Aufnahme der Querkräfte sehr kompliziert durchzuführen.

An den Pfeilern sind Sanierungsmaßnahmen und gegebenenfalls Querschnittsergänzung durchzuführen.

## 5.2 Beispiel für Instandsetzungsmaßnahmen an Stahlbetonbrücken

### 5.2.1 Brücke über dem Weg Varna-Devnya<sup>138</sup>



Abb. 85: Brücke bei Devnya: Luftaufnahme<sup>139</sup>



Abb. 86: Brücke bei Devnya: Ansicht

### Beschreibung der Konstruktion:

Die Brücke wurde im Jahre 1974 errichtet und befindet sich in einem Industriegebiet in der Nähe der Stadt Devnya. Sie stellt eine Verbindung mit einer Phosphorgipshalde dar. Die Überführung verläuft schräg über den alten Weg Varna-Devnya und hat eine Spannweite von

<sup>138</sup> Prof. D. Dimov, Unternehmen VVD Consult, Sofia

<sup>139</sup> <https://www.google.bg/maps>



19,85 m. Die Gesamtbreite beträgt 10,5 m und die Längsneigung 3%. Der Überbau besteht aus sieben Stahlbetonfertigteilträgern mit einem Doppel-T Querschnitt, einer Höhe von 1,40 m und einer Ortbetonplatte mit einer Dicke von 14 cm. Eine Nummerierung der Hauptträger (von 1 bis 7) ist in Richtung von Osten nach Westen festgelegt. Es gibt drei Querträger und zwar einen in der Feldmitte und zwei an den Stützstellen. Der Unterbau (Widerlager und Flügel) besteht aus Ortbeton.

### **Zustandserfassung und Analyse der Schäden:**

Im Allgemeinen befindet sich die Konstruktion in einem schlechten Zustand. Durch den Anprall eines unzulässig hohen Verkehrsmittels wurde Hauptträger 1 stark beschädigt (siehe Abb. 87, Abb. 89, Abb. 90). Der Anprall erfolgte ungefähr in der Feldmitte, unmittelbar am Querträger, was zu einer Umverteilung der Lasten und dadurch zu einer Schadensreduktion führte. Der Riss verläuft schräg am Hauptträger 1 und läuft vom Obergurt bis zum Untergurt. Die Länge des Risses beträgt ungefähr drei Meter. In diesem Bereich kam es zu einer Beulung des Untergurts und des Stegs. Die Betondeckung wurde beschädigt. Im Ist-Zustand ist die Biegetragfähigkeit des Hauptträgers 1 wesentlich (bis zu 80%) reduziert und die Querkrafttragfähigkeit im Bereich des Risses praktisch nicht mehr gewährleistet.

Infolge eines ähnlichen Anprallschadens wurde bereits Hauptträger 7 ersetzt. Der neue Hauptträger hat einen rechteckigen Querschnitt. Jedoch wurde auch an diesem Träger eine mangelhafte Betondeckung festgestellt (siehe Abb. 88). Während der Überwachung wurde ein Anprall beobachtet. Dieser Vorfall unterstützt die These, dass an dieser konkreten Stelle noch weitere Anprallschäden zu erwarten sind.

An den nichtkonstruktiven Elementen zeigen sich schwere Schäden. U.a. zeigen sich auf dem Fahrbahnbelag lokale Schadstellen. Dieser ist abgenutzt und in schlechtem Zustand. Auf der Untersicht der Fahrbahnplatte sind Spuren von Wasserdurchtritten durch die Abdichtungsebene zu erkennen (siehe Abb. 91, Abb. 92). Dieser Umstand lässt darauf schließen, dass die Abdichtung bzw. die Übergangskonstruktion nicht mehr ihre volle Funktion erfüllen.

Der Überbau, insbesondere bei den äußeren Trägern und den Fugen, wurde durch die atmosphärische Wassereinwirkung stark beeinträchtigt und weist daher schwere Korrosionsschäden auf. Die Konstruktion wird der starken aggressiven Einwirkung des über die Brücke transportierten Phosphorgipses ausgesetzt. Die Bewehrung der Querträger an den Stützstellen

weist eine beginnende Korrodierung auf. Die Betondeckung gewährleistet keinen ausreichenden Korrosionsschutz mehr.

Die Stahllager weisen eine fortschreitende Korrodierung auf. Außerdem wird das Bewegungsvermögen durch Gegenstände und Verunreinigungen verhindert.



**Abb. 87: Ostansicht: Träger 1**



**Abb. 88: Westansicht: Träger 7**



**Abb. 89: Anprallschaden: Träger 1**



**Abb. 90: Anprallschaden: Träger 1**



**Abb. 91: Brückenuntersicht: Schäden**



**Abb. 92: Brückenuntersicht**

An den Fahrbahnrändern wurden als erste Instandsetzungsmaßnahme bereits nach dem Anprall Betonleitwände ausgeführt. Sie führten zu einer optischen Geschwindigkeitsreduktion, die sich positiv auf die Konstruktion auswirkte. Außerdem bewegen sich die schweren Verkehrsmittel (LKW) ungefähr in der Mitte der Fahrbahn. Auf diese Weise wird die Belastung der äußeren Träger reduziert. Die Bemessungslasten werden auch in Wirklichkeit kaum realisiert. Nach dem Anprall vergrößerten sich die Rissbreiten des geschädigten Trägers 1 nicht mehr. Die anderen sechs Hauptträger nehmen die dynamischen Lasten auf und Träger 1 wird nicht weiter beeinträchtigt.

Das Verhalten des geschädigten Trägers ist nicht prognostizierbar. In diesem Sinne ist bei einer außergewöhnlichen Lastkombination auch das Verhalten der ganzen Konstruktion schwer zu definieren. Instandsetzungsmaßnahmen sind obligatorisch durchzuführen.

### **Instandsetzungskonzepte:**

Vor der Erstellung der Instandsetzungskonzepte wurden Prüfungen des Betons (zerstörungsfrei) bzw. des Bewehrungsstahls und eine EDV-gestützte Untersuchung des Überbaus durchgeführt. Diese Brückenprüfungen hatten folgende Ziele:

- Bestimmung der tatsächlichen Kennwerte der verwendeten Baustoffe (Festigkeit, E-Modul, entsprechende Betonklasse)
- Bestimmung der Art des Bewehrungsstahls (Flach- oder Rippenstahl, Durchmesser)
- Feststellung von Korrosion

Die statische Analyse wurde für die gesamte Konstruktion durchgeführt. Zu den Untersuchungsfällen bzw. Lastkombinationen zählten:

- bestehende Fahrbahnbreite (9,5 m) und alter Fahrbahnbelag, ein LKW (voll)
- bestehende Fahrbahnbreite (9,5 m) und alter Fahrbahnbelag, zwei LKW (einer voll und einer leer)
- Zwischentappe bis zum Ausführungsbeginn: reduzierte Fahrbahnbreite (6,5 m) und alter Fahrbahnbelag, ein LKW (mit einem geringeren Gewicht)
- bestehende Fahrbahnbreite (9,5 m) und neuer Fahrbahnbelag, zwei LKW (einer voll und einer leer)
- neue reduzierte Fahrbahnbreite und neuer Fahrbahnbelag, ein LKW (voll)

Die maßgeblichen Schnittgrößen (Biegemomente und Querkräfte) treten im Träger 2 auf, vorausgesetzt, dass Träger 1 eine reduzierte Tragfähigkeit aufweist. Große Werte der Schnitt-

größen entstehen ebenfalls im Träger 7 (in allen Untersuchungsfällen) und im Träger 6 (Untersuchungsfälle mit zwei LKW). Der Nachweis wird nur für die maßgeblichen Träger (Träger 1, 2, 7) durchgeführt. Daher sind in diesen Trägern die Normalspannungen und die Tangentialspannungen zu ermitteln. Die Analyse führt zum folgenden eindeutigen Ergebnis: Keiner der maßgeblichen Träger kann bei der bestehenden Fahrbahnbreite ohne entsprechende Sanierungs- bzw. Verstärkungsmaßnahmen die Schnittgrößen aufnehmen. Bei einer Reduzierung der Fahrbahnbreite auf 6,5 m wird die Tragfähigkeit von allen Trägern, ausgenommen bei Träger 1, gewährleistet.

Aufgrund der Ergebnisse der Brückenprüfungen und der Modellanalyse wurden folgende Instandsetzungskonzepte erstellt:

- Variante 1 (Abb. 93):
  - Fahrbahnbreite bleibt erhalten
  - Träger 7:
    - Sanierung und teilweise Verstärkung mit CFK-Lamellen und CFK-Matten
  - Träger 1:
    - Sanierung und teilweise Verstärkung mit einer stählernen Fachwerkkonstruktion sowie lokale Verstärkung mit CFK-Matten
  - Ersatz von Fahrbahnbelag und Abdichtung
- Variante 2 (Abb. 94):
  - Reduzierung der Fahrbahnbreite auf 6,5 m – symmetrisch zur Fahrbahnachse
  - Träger 1 und 7:
    - Sanierung und teilweise Verstärkung mit CFK-Matten
  - Ersatz von Fahrbahnbelag und Abdichtung

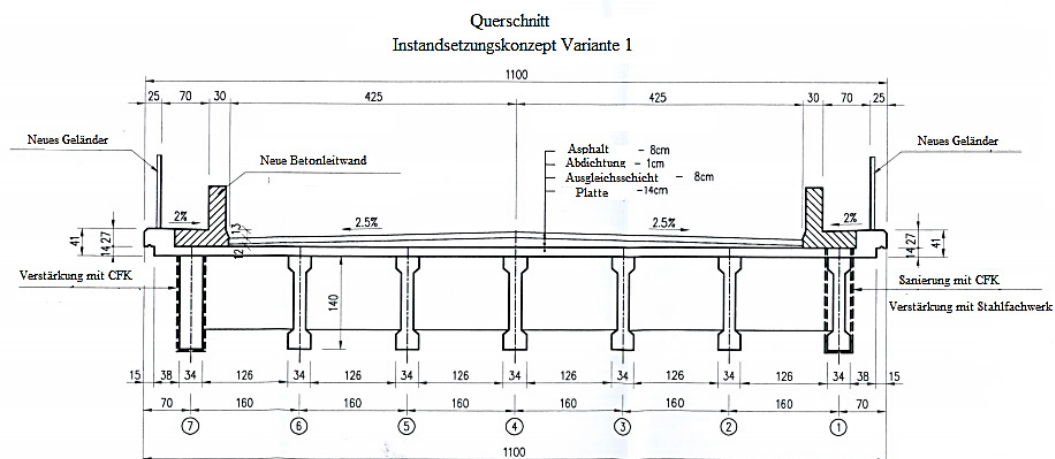


Abb. 93: Instandsetzungskonzept Variante 1

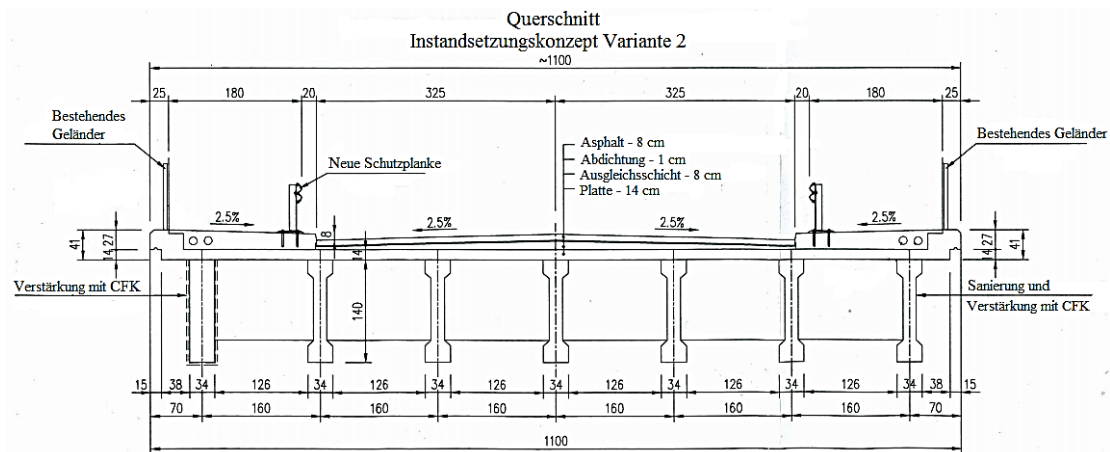


Abb. 94: Instandsetzungskonzept Variante 2

Gewählt wurde das erste Instandsetzungskonzept (Variante 1). Das Konzept umfasst die endgültige statische Analyse der Konstruktion und die konstruktive Durchbildung dieser. Die maßgeblichen Lastkombinationen enthalten das Eigengewicht und die Verkehrslasten aus einem LKW für jede Fahrtrichtung. In weiterer Folge werden die Vorteile der konstruktiven Lösung und die Vorgehensweise bei der Ausführung erläutert.

### Konstruktive Lösung:

Träger 7 wird im Rahmen der gewählten Variante 1 mit CFK-Lamellen und CFK-Matten verstärkt. Die Gebrauchstauglichkeit und die Tragfähigkeit der Elemente werden wesentlich erhöht. Durch diese Verstärkung wird der Lichtraum unter der Brücke nicht reduziert. Außerdem bleibt Träger 7, der schon einmal ersetzt wurde, in seiner Ganzheit erhalten.

Träger 1 wird lokal im Bereich des Risses durch CFK-Matten verstärkt. Beidseitig wird ein äußeres stählernes Fachwerk (siehe Abb. 98) ausgeführt. Das Fachwerk stellt einen Parallelträger dar und besteht aus Untergurt, Obergurt, Streben und Pfosten. Der Obergurt ist biegesteif ausgebildet und besteht aus der mitwirkenden Fahrbahnplatte und dem darüberliegenden Randbalken. Das Fachwerk gewährleistet die notwendige Tragfähigkeit hinsichtlich Biegung und Schub und verbessert die Biegesteifigkeit des Trägers.

Es werden neue Betonleitwände und Geländer ausgeführt. Die alten Übergangskonstruktionen und der Fahrbahnbelag werden neu hergestellt.

Die einzelnen Etappen bei der Ausführung werden in der folgenden Tabelle beschrieben und durch Bilder veranschaulicht.

| Bauablauf  | Beschreibung  | Verweis            |
|--|---|--------------------|
| <b>I Etappe:<br/>Verstärkung<br/>von Träger 7</b>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Einführung eines neuen Verkehrskonzepts, Gewichtsbeschränkung</li> <li>- Beseitigung des Fahrbelags</li> <li>- Durchführung der Vorbereitungsmaßnahmen:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sandstrahlen oder mechanische Vorbehandlung: Entfernen von Staub, Ölen, Verunreinigungen</li> <li>- Entrosten, Korrosionsschutzbeschichtung</li> </ul> </li> <li>- Betonersatz</li> <li>- Vorbereitungsmaßnahmen für Verklebung von CFK-Lamellen: Ausgleichsmörtel, Ausrundungen</li> <li>- Verklebung der CFK-Lamellen und –Matten</li> <li>- Ausführung einer dünnen Spritzmörtelschicht auf der Untersicht und auf beiden Seiten des Trägers</li> </ul>  | Abb. 95            |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verklebung der CFK-Lamellen und –Matten</li> <li>- Ausführung einer dünnen Spritzmörtelschicht auf der Untersicht und auf beiden Seiten des Trägers</li> </ul>   | Abb. 97            |
| <b>II Etappe:<br/>Sanierung und<br/>Verstärkung<br/>von Träger 1</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sanierung: Wiederholung der Schritte aus Etappe I</li> <li>- Verstärkung: nach der vollständigen Erhärtung aller eingesetzten Instandsetzungssysteme</li> <li>- Anfertigung der Fachwerkelemente (Dübel, Knoten, Untergurt und Füllstäbe) in der Werkstatt</li> <li>- Ausführung des monolithischen Obergurts:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Herstellung einer Öffnung in der Fahrbelagplatte und dem Randbalken</li> <li>- Verdübelung der Fachwerkstruktur in der Fahrbelagplatte und dem Randbalken</li> </ul> </li> <li>- Ausführung der Knoten</li> <li>- Untergurt:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verklebung von Knotenblechen des Fachwerkuntergurts an dem Trägeruntergurt</li> <li>- Montage der Profile des Untergurts</li> </ul> </li> <li>- Montage der Füllstäbe</li> <li>- Ausführung einer dünnen Spritzmörtelschicht auf der Untersicht und auf beiden Seiten des Trägers</li> </ul> | Abb. 96, Abb. 97   |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ausführung der Knoten</li> <li>- Untergurt:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verklebung von Knotenblechen des Fachwerkuntergurts an dem Trägeruntergurt</li> <li>- Montage der Profile des Untergurts</li> </ul> </li> <li>- Montage der Füllstäbe</li> <li>- Ausführung einer dünnen Spritzmörtelschicht auf der Untersicht und auf beiden Seiten des Trägers</li> </ul>  | Abb. 98<br>Abb. 99 |
| <b>III Etappe:<br/>Betonleitwand<br/>und Geländer</b>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ausführung des horizontalen Teils der Betonleitwand (durchlaufend); Verdübelung in der Fahrbelagplatte</li> <li>- Ausführung des vertikalen Teils der Betonleitwand, Fugen weisen einen Abstand von 525 cm auf</li> <li>- Sanierung des bestehenden Randbalkens, Montage des Stahlgeländers</li> <li>- Ausführung einer neuen Abdichtung, einer Ausgleichsschicht aus Beton, eines Fahrbelags und von Übergangskonstruktionen</li> </ul>   |                    |
| <b>IV Etappe:<br/>Sanierung</b>                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lager:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reinigen der Stahllager</li> <li>- Ausführung einer Korrosionsschutzbeschichtung</li> </ul> </li> <li>- Fahrbelagplatte (Untersicht), Hauptträger, Querträger mit ungenügender Betondeckung: Sanierung mit Spritzbeton</li> <li>- Widerlager und Flügel: Sanierung der lokalen Schäden</li> </ul>  |                    |

Tabelle 12: Bauablaufplan bei der Instandsetzung

## Anmerkungen:

- Die Ausführung der neuen Betonleitwand erfolgt nach der Sanierung bzw. Verstärkung der Träger auf der entsprechenden Seite.
- Die Montage des neuen Stahlgeländers erfolgt nach der Ausführung der Betonleitwand.
- Die Ausgleichsschicht, Abdichtung und Asphaltdecke werden abschließend eingebaut.
- Der entsprechende Fahrstreifen wird für den Verkehr geöffnet und ein neues Verkehrskonzept eingeführt.

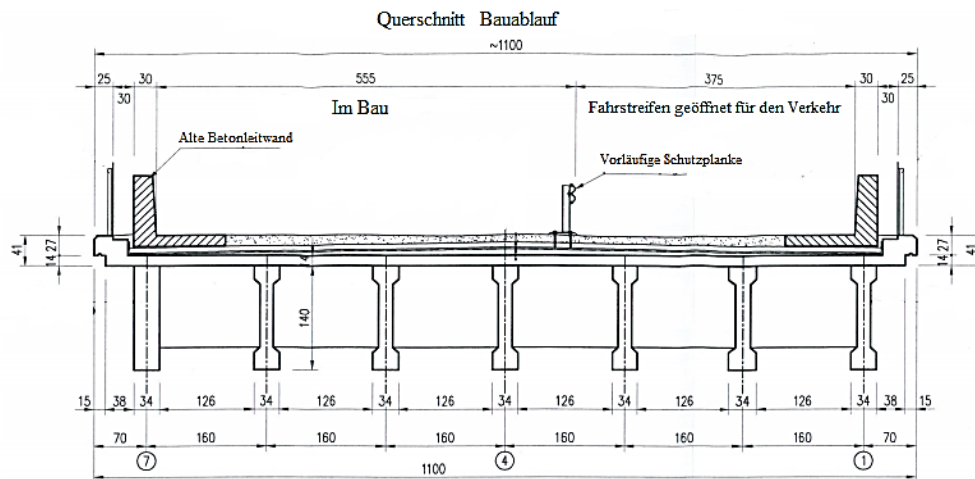


Abb. 95: Verkehrskonzept – Träger 7

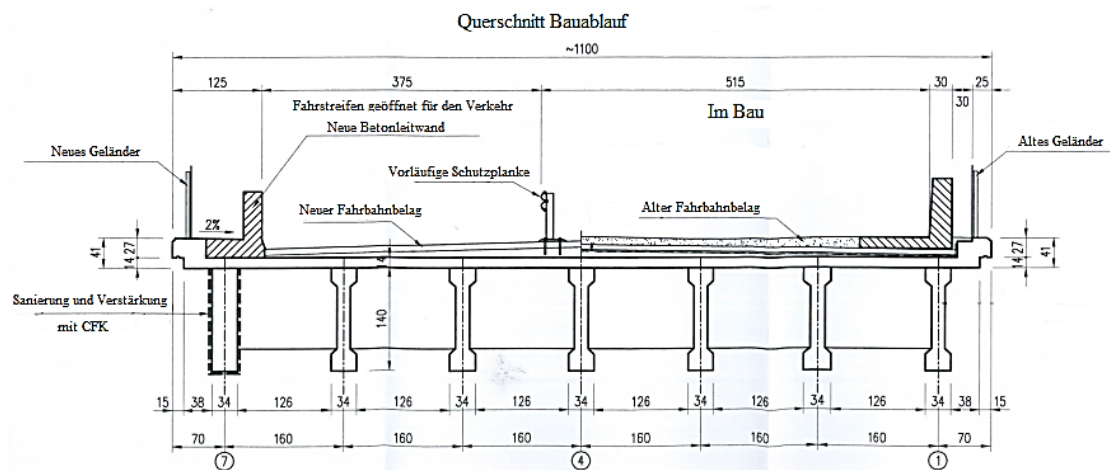


Abb. 96: Verkehrskonzept – Träger 1

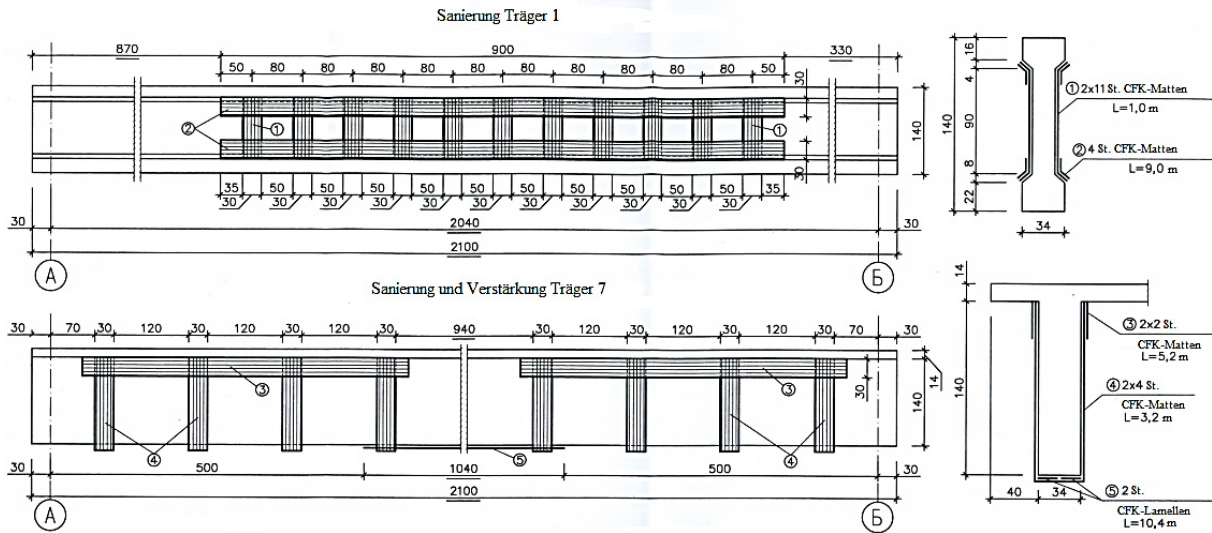


Abb. 97: Sanierung und Verstärkung mit CFK

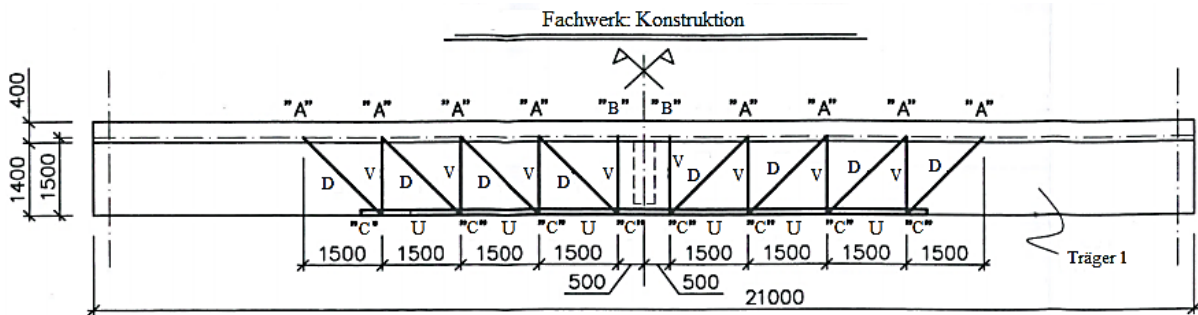


Abb. 98: Konstruktive Durchbildung des Fachwerks

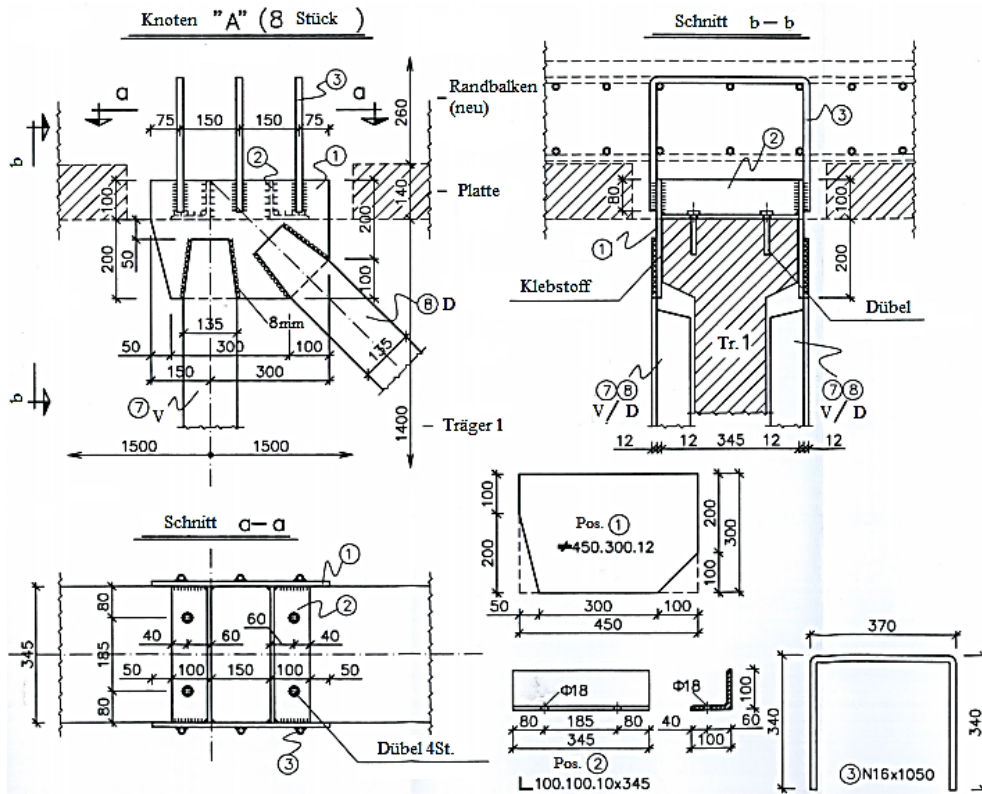


Abb. 99: Fachwerkdetail: Knoten A



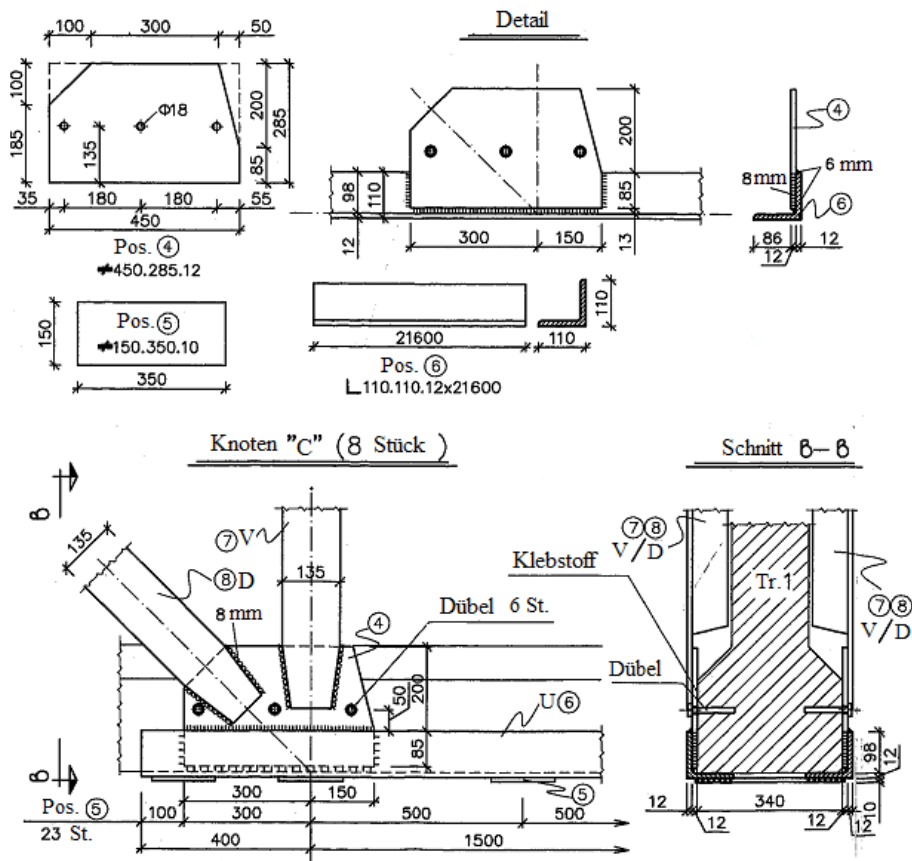


Abb. 100: Fachwerkdetail: Knoten C

## 6 Fazit

Die Instandsetzung bzw. Verstärkung von Brückenbauwerken ist eine komplexe und verantwortungsvolle Tätigkeit. Manchmal kann das Projekt für eine Instandsetzung oder Verstärkung hinsichtlich Komplexität und Aufwand ein Projekt für Neubau weit übersteigen. U.a. sind folgende Besonderheiten bei der Erstellung von Instandsetzungskonzepten zu berücksichtigen:

- Kenntnisse über das Verhalten von Konstruktionen sind von wesentlicher Bedeutung.
- Die Qualität der eingesetzten Baustoffe kann stark variieren.
- Die Ergebnisse der Brückenprüfungen dienen als Grundlage für die Erstellung von Instandsetzungskonzepten.
- Die Entscheidung für die Wahl eines Konzepts ist meist komplex und hängt von vielen Faktoren ab.

Beim beschriebenen Projekt im Kapitel 5.2 wurde Variante 2 von den Planern als wirtschaftlich günstiger empfohlen. Der Bauherr wählte aber Variante 1, weil sie am meisten seinen Anforderungen entsprach. Eine gute Zusammenarbeit zwischen Auftraggeber, Auftragnehmer und Behörden ist bei Sanierungs- und Verstärkungsmaßnahmen ein wichtiger Baustein zum Erfolg. Wie schon erwähnt, kann die rechtzeitige Durchführung von Sanierungsarbeiten nicht nur eine weitere Entwicklung der Schäden verhindern, sondern auch die Erhaltungskosten bzw. die Lebenszykluskosten reduzieren.<sup>140</sup> In vielen Fällen wie auch im konkreten Projekt sind spezifische konstruktive Lösungen zu entwickeln.

Seit dem Erdbeben in Bulgarien im Jahre 2012 gewinnt das Thema Erdbebensicherheit immer mehr an Bedeutung. Die Gewährleistung der Erdbebensicherheit war ein vordergründiges Ziel bei der Erstellung des Sanierungskonzepts der Brücke Bebesch.

Die Einführung eines ganzheitlichen Brückenmanagement wäre zwingend anzuraten, welches in Bulgarien zum heutigen Stand fehlt. Durch die Erfassung der Brücken in einer Datenbank bzw. durch die Erstellung eines Brückenkatasters kann die Instandhaltung wesentlich optimiert werden.

---

<sup>140</sup> Ivantshev: Stahlbetonbrücken (Vorlesungen), Sofia, 2005, S. 191-192

# Literaturverzeichnis

**Amt für Straßeninfrastruktur, Varna:** Archiv

**Amt für Straßeninfrastruktur:** Vorschriften für Überwachung und Erhaltung von Straßenbrücken und Durchlässen; 1993

**Bahr; Carolin; Lennerts; Kanibert:** Endbericht: Lebens- und Nutzungsdauer von Bauteilen

**Bergmeister:** Kohlenstofffasern im konstruktiven Ingenieurbau; John Wiley & Sons; 2003

**Bergmeister; Wörner; Fingerloos:** BetonKalender; John Wiley & Sons; 2008

**Detshev; Georgiev:** Vorlesungen zur LVA Erhaltung und Sanierung von Brücken; Sofia; 2007

**Dimov:** Persönliches Archiv, Fotos

**Dimov; Unternehmen VVD Consult:** Instandsetzungsprojekt

**Dulevski:** Stahlbrücken; ABC Technik; Sofia; 2009

**Google Maps:** <https://www.google.bg/maps>

**Harding; Parke; Ryall:** Bridge Management; Chapman & Hall; 1990

**Hilti Deutschland AG:** Technisches Handbuch der Befestigungstechnik; 2012

**Ivantshev:** Stahlbetonbrücken (Vorlesungen), Sofia, 2005

**Ivantshev; Topurov:** Stahlbetonbrücken; ABC Technik; Sofia; 2009

**Jannasch GmbH:** <http://www.jannasch-gmbh.de>

**Kissov:** Persönliches Archiv

**Markov, Minev, Dimov:** Basic defects and damages on the concrete bridges in Bulgaria; Faculty of C. Eng. UACEG; Sofia

**Mehlhorn:** Handbuch Brücken; Springer; 2007

**Nikolov:** Straßenbrücken aus Stahlbeton – Planung; Konsult 2000, Sofia, 2013

**Radenkova – Yaneva:** Chemie im Bauwesen; Verlag UACG; Sofia; 2004

**Sika:** <http://www.sika.com/en/sikasmart-redirect/solutions-for-projects/sika-solutions-for-bridge-refurbishment.html>

**Sika Bulgarien:** Werbematerialien

**Sika:** Produktkatalog Bulgarien

**Sika:** Produktkatalog Deutschland

**Simandl:** Nutzungsdauern von Eisenbahnbrücken; Dissertation; Wien; 2011

**Topurov, Dimov, Georgiev, Petrov:** Bericht; Zustandserfassung und Sanierungskonzept von Viadukten; UACG; 2012

**Topurov:** Interview; <http://www.vsekiden.com/117883/60-mosta-u-nas-pred-ruhvane/>

**Topurov:** Straßen- und Eisenbahnbrücken aus Stahlbeton, ABC Technik, 2012

**Unternehmen Straßen und Brücken, Varna:** Archiv

**Unternehmen VVD Consult:** Archiv

**Wikipedia:**

<http://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Bebresh4.JPG>

**Winterdienst im Land Schleswig – Holstein:** <http://www.schleswig-holstein.de>

# Abbildungsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Abb. 1: Balkenbrücke auf der Autobahn Trakija .....  | 9  |
| Abb. 2: Vollplatte – Ortbetonkonstruktionen.....   | 10 |
| Abb. 3: Vollplatten – Mischsystem.....   | 10 |
| Abb. 4: Plattenbalkenkonstruktion – Querschnitt (oben), Längsschnitt (unten).....                              | 11 |
| Abb. 5: Plattenbalkenbrücke auf der Autobahn Trakija.....  | 11 |
| Abb. 6: Plattenbalken mit einem Steg.....  | 11 |
| Abb. 7: Plattenbalken mit zwei Stegen (Ortbetonkonstruktion) .....   | 12 |
| Abb. 8: Plattenbalken – Fertigteilkonstruktion .....   | 12 |
| Abb. 9: Mögliche Verlegung der T - Fertigteile .....   | 13 |
| Abb. 10: Mögliche Verlegung der T - Fertigteile .....  | 13 |
| Abb. 11: Mögliche Ausführung von Plattenbalken – Fertigteilträger und Ortbetonplatte.....                      | 13 |
| Abb. 12: Ausführung von Plattenbalken mit einer Vorplatte.....   | 14 |
| Abb. 13: Ausführung von Plattenbalken mit Fertigteilen .....   | 14 |
| Abb. 14: Ausführung mit T - Fertigteilen und Ortbetonplatte .....  | 15 |
| Abb. 15: Kastenquerschnitt.....  | 15 |
| Abb. 16: Trogquerschnitt bei Eisenbahnbrücken.....   | 16 |
| Abb. 17: Überwachungs- bzw. Erhaltungsgrad in Abhängigkeit von der Nutzungsdauer und<br>den Gesamtkosten ..... | 17 |
| Abb. 18: Teleskopkran mit Arbeitskorb.....   | 20 |
| Abb. 19: Teleskopkran mit Arbeitsbühne .....   | 20 |
| Abb. 20: Hauptträger: Links - sehr schlechter Zustand (1), Rechts - sehr guter Zustand (5) ..                  | 22 |
| Abb. 21: Schäden an bituminösen Fahrbahndecken – (1) regelmäßig, (2) unregelmäßig.....                         | 31 |
| Abb. 22: Schäden an bituminösen Fahrbahndecken – Arten von Rissen.....   | 31 |
| Abb. 23: Schäden an bituminösen Fahrbahndecken – Spurrinnen.....   | 31 |
| Abb. 24: Brücke auf Autobahn Hemus 380+680 – Schäden an der Asphaltdecke.....                                  | 31 |
| Abb. 25: Schäden im Widerlagerbereich .....  | 31 |
| Abb. 26: Übergangskonstruktion aus Kupferblech.....  | 32 |
| Abb. 27: Übergangskonstruktion aus elastischem Füllmaterial.....   | 32 |
| Abb. 28: Übergangskonstruktion mit sinusförmiger Abdeckung .....   | 32 |
| Abb. 29: Übergangskonstruktion für große Dilatationen.....   | 33 |
| Abb. 30: Übergangskonstruktion aus Stahl- und Gummiprofilen: mögliche Schäden .....                            | 33 |
| Abb. 31: Brücke Bebesch auf der Autobahn Hemus: verstopfte Entwässerungseinrichtung.                           | 34 |
| Abb. 32: Verlegung einer verklebten Dichtungsschicht .....   | 34 |

|   |    |
|---|----|
| Abb. 33: Schäden am Randbalken .....  | 36 |
| Abb. 34: Anprallschäden an Leitschienen.....  | 36 |
| Abb. 35: Brücke Bebresch: Korrosion des Geländers.....  | 36 |
| Abb. 36: Risse bei Stahlbetonelementen.....   | 39 |
| Abb. 37: Risse bei Spannbetonelementen .....  | 39 |
| Abb. 38: Brücke Autobahn Trakija (km 67): schräge Risse im Stützbereich .....                                       | 39 |
| Abb. 39: Brücke Autobahn Trakija (km. 67): Korrosion der Bewehrung .....  | 41 |
| Abb. 40: Brücke Autobahn Trakija (km. 67): Betonabplatzungen und Korrosion der<br>Bewehrung bei Brückenstützen..... | 42 |
| Abb. 41: Deformationen der Brückenstützen: Auswirkungen auf die ganze Konstruktion.....                             | 42 |
| Abb. 42: Brücke Bebresch: Korrosion und Ausschöpfung des Bewegungsvermögens bei<br>einem Rollenlager .....          | 42 |
| Abb. 43: Zerstörung des alten Fahrbahnbelags .....  | 43 |
| Abb. 44: Errichtung eines neuen Randstreifens .....   | 43 |
| Abb. 45: Neue Abdichtung und Asphaltdecke.....  | 44 |
| Abb. 46: Neue Übergangskonstruktionen .....   | 44 |
| Abb. 47: Instandsetzungssystem .....  | 48 |
| Abb. 48: CFK-Lamellenrolle (links); Aufbringen einer CFK-Matte (rechts).....  | 53 |
| Abb. 49: Anbringung von CFK-Lamellen .....  | 53 |
| Abb. 50: Anbringung von CFK-Matten .....  | 53 |
| Abb. 51: Querschnittsergänzung einer rechteckigen Stütze.....   | 55 |
| Abb. 52: Verstärkung eines Pfeilerkopfes.....   | 56 |
| Abb. 53: Verstärkung eines Pfeilerkopfes.....   | 56 |
| Abb. 54: Übersichtskarte.....   | 58 |
| Abb. 55: Viadukt Bebresch: Luftaufnahme .....   | 60 |
| Abb. 56: Viadukt Bebresch: Ansicht.....   | 60 |
| Abb. 57: Randbalken: Abplatzungen .....   | 62 |
| Abb. 58: Fahrbahnplatte: Wasserdurchtritt .....   | 62 |
| Abb. 59: Hauptträger: Risse, Abplatzungen.....  | 62 |
| Abb. 60: Dilatationsfuge .....  | 62 |
| Abb. 61: Fahrbahnbelag: Schadstellen.....   | 63 |
| Abb. 62: Funktionale Elemente: Korrosion .....  | 63 |
| Abb. 63: Stützen: Abplatzungen .....  | 63 |
| Abb. 64: Riegel: Abplatzungen.....  | 63 |
| Abb. 65: Lager: Erschöpfung des Bewegungsvermögens .....  | 63 |
| Abb. 66: Lager und Lagersockel: Risse .....   | 63 |

|  |    |
|--|----|
| Abb. 67: Viadukt Varschilata: Luftaufnahme .....       | 65 |
| Abb. 68: Viadukt Varschilata: Ansicht .....            | 65 |
| Abb. 69: Pfeiler: Abplatzungen.....                    | 68 |
| Abb. 70: Riegel: Abplatzungen.....                     | 68 |
| Abb. 71: Riegel: Spuren von Wasserdurchtritt .....     | 68 |
| Abb. 72: Lager: Korrosion .....                        | 68 |
| Abb. 73: Böschungskeil: zerstörte Abdeckung.....       | 68 |
| Abb. 74: Übergangskonstruktion: Korrosion .....        | 68 |
| Abb. 75: Viadukt bei Tserovo: Luftaufnahme .....       | 69 |
| Abb. 76: Viadukt bei Tserovo: Ansicht .....            | 69 |
| Abb. 77: Hauptträger, Stützenkopf: Abplatzungen.....   | 70 |
| Abb. 78: Fahrbahnplatte: Wasserdurchtritt .....        | 70 |
| Abb. 79: Hauptträger: schräge Risse.....               | 71 |
| Abb. 80: Übergangskonstruktion: Korrosion .....        | 71 |
| Abb. 81: Pfeiler: Abplatzungen.....                    | 71 |
| Abb. 82: Pfeilerkopf in kritischem Zustand .....       | 71 |
| Abb. 83: Stützbereich: Risse, Abplatzungen.....        | 71 |
| Abb. 84: Pfeilerköpfe: Abplatzungen, Korrosion .....   | 71 |
| Abb. 85: Brücke bei Devnya: Luftaufnahme .....         | 72 |
| Abb. 86: Brücke bei Devnya: Ansicht .....              | 72 |
| Abb. 87: Ostansicht: Träger 1 .....                    | 74 |
| Abb. 88: Westansicht: Träger 7.....                    | 74 |
| Abb. 89: Anprallschaden: Träger 1 .....                | 74 |
| Abb. 90: Anprallschaden: Träger 1 .....                | 74 |
| Abb. 91: Brückenuntersicht: Schäden.....               | 74 |
| Abb. 92: Brückenuntersicht.....                        | 74 |
| Abb. 93: Instandsetzungskonzept Variante 1 .....       | 76 |
| Abb. 94: Instandsetzungskonzept Variante 2 .....       | 77 |
| Abb. 95: Verkehrskonzept – Träger 7 .....              | 79 |
| Abb. 96: Verkehrskonzept – Träger 1 .....              | 79 |
| Abb. 97: Sanierung und Verstärkung mit CFK.....        | 80 |
| Abb. 98: Konstruktive Durchbildung des Fachwerks ..... | 80 |
| Abb. 99: Fachwerkdetail: Knoten A .....                | 80 |
| Abb. 100: Fachwerkdetail: Knoten C.....                | 81 |

# Tabellenverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Tabelle 1: Zustandsbewertung von Brückenkonstruktionen.....             | 22 |
| Tabelle 2: Ermittlung des Bedeutungsbeiwerts $K_i$ .....                | 23 |
| Tabelle 3: Rechenbeispiel - Ausgangsdaten.....                          | 25 |
| Tabelle 4: Koeffizienten für die allgemeine Abnutzung ( $K_{1i}$ )..... | 26 |
| Tabelle 5: Bedeutungskategorie der Route ( $K_{2i}$ ).....              | 26 |
| Tabelle 6: Arten von Rissen.....  | 38 |
| Tabelle 7: Verfahren zur Vorbehandlung des Betonuntergrunds.....        | 45 |
| Tabelle 8: Vergleich - CFK-Lamellen und Stahllamellen.....              | 52 |
| Tabelle 9: Viadukt Bebresch: Zustandserfassung.....                     | 62 |
| Tabelle 10: Viadukt auf der Autobahn Trakija: Zustandserfassung.....    | 67 |
| Tabelle 11: Viadukt auf der Autobahn Trakija: Zustandserfassung.....    | 70 |
| Tabelle 12: Bauablaufplan bei der Instandsetzung.....                   | 78 |