

Untersuchungen an Bauwerken aus hochfestem Beton

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 86

The logo for the Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) is displayed in a stylized, lowercase, green font with a white outline. The letters are bold and modern, with the 'a' and 's' having a slightly rounded, friendly appearance. The logo is positioned in the bottom right corner of the page.

Untersuchungen an Bauwerken aus hochfestem Beton

von

Nguyen Viet Tue
Nancy Freitag

KHP-ZERNA Planungsgesellschaft mbH
Leipzig

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 86

bast

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

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

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

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

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

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

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt FE 29.243/2009:
Untersuchungen an Bauwerken aus hochfestem Beton

Projektbetreuung
Franka Tauscher

Herausgeber
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

Redaktion
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag
Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

ISSN 0943-9293
ISBN 978-3-86918-184-4

Bergisch Gladbach, Dezember 2011

Print  kompensiert
Id-Nr. 1216059
www.bvdm-online.de

Kurzfassung – Abstract

Untersuchungen an Bauwerken aus hochfestem Beton

Ziel des bearbeiteten Forschungsvorhabens war die Untersuchung des Verhaltens von Brücken aus hochfestem Beton.

Im Rahmen des vorliegenden Vorhabens wurden drei bestehende Brücken aus hochfestem Beton hinsichtlich der visuell zu bewertenden Oberflächenbeschaffenheit und der mit Hilfe von Messungen ermittelten Karbonatisierungstiefe und Chlorideindringung bewertet:

- Brücke im Zuge der Straße nach Wölkau über die BAB A 17, BW-Nr. 5048569,
- Überführung des Eigentümerweges „Freihamer Allee“ über die BAB A 96/99, BW-Nr. 7834699,
- BW 27-1 Überführung eines Wirtschaftsweges, Buchloe, BW-Nr. 7930585.

Dabei konnte festgestellt werden, dass sich der hochfeste Beton hinsichtlich der Karbonatisierungstiefen wie erwartet als sehr dauerhaft erweist. Durch seine dichte Struktur ist nahezu keine Karbonatisierung an den Bauteilen aus hochfestem Beton zu verzeichnen. Lediglich die aus hochfestem Beton hergestellten Pfeiler der Brücken Buchloe und Freihamer Allee zeigen Netzrisse, die auf ungenügende Nachbehandlung der Bauteile zurückgeführt werden könnten.

Weiterhin wurde an der Muldebrücke Glauchau der bereits vor Verkehrsfreigabe durchgeführte Belastungstest wiederholt, bei der die damaligen Lastpositionen erneut aufgebracht wurden. Auch hier konnte gezeigt werden, dass sich das hervorragende Tragverhalten auch nach acht Jahren der Nutzung unverändert zeigt. Die große Steifigkeit des Überbaus ist unverändert.

Insgesamt konnte festgestellt werden, dass die untersuchten Brücken aus hochfestem Beton die an sie gestellten Anforderungen hinsichtlich Dauerhaftigkeit und Tragverhalten erfüllen. Eventuell wäre zu überprüfen, inwieweit andere Bauteile (insbesondere Pfeiler) aus hochfestem Beton eine ähnliche Netzrisbildung aufweisen. Bei einem Vergleich der Bautagebücher ließen sich möglicherweise Rückschlüsse auf die Einflussfaktoren auf die Rissbildung ziehen.

Der Originalbericht enthält als Anlagen Übersichten über die Lage der Entnahmepunkte für die Chloridproben und Karbonatisierungsmessungen (ANL. 1), die Untersuchungsberichte der MFPA Leipzig GmbH über die Chlorid- und Karbonatisierungsmessungen (ANL. 2), Angaben zu den Fahrzeugen der Probelastung an der Muldebrücke Glauchau (ANL. 3) sowie die Ergebnisse der Probelastung (ANL. 4). Auf die Wiedergabe dieser Anlagen wurde in der vorliegenden Veröffentlichung verzichtet. Sie liegen bei der Bundesanstalt für Straßenwesen vor und sind dort einsehbar. Verweise auf die Anlagen im Berichtstext wurden zur Information des Lesers beibehalten.

Investigations on engineering structures made of high-strength concrete

The purpose of this research project was to investigate the performance of bridges made of high-strength concrete.

Three existing bridges made of high-strength concrete were evaluated as part of this project. Visual evaluation of the surface properties and measurements of the carbonation depth and chloride penetration were performed on the:

- Bridge on the road to Wölkau over the BAB A 17 motorway, BW-No. 5048569,
- The private "Freihamer Allee" flyover over the BAB A 96/99 motorway, BW-No. 7834699,
- BW 27-1 flyover of a commercial road, Buchloe, BW-No. 7930585.

It was found that high-strength concrete was very durable regarding the carbonation depths. This was expected. There is hardly any carbonation of components made of high-strength concrete, due to their dense structure. Only the high-strength concrete pillars of the Buchloe and Freihamer Allee bridges showed alligator cracks that were explained by insufficient finishing treatment of the components.

In addition, the stress test that had already been performed on Glauchau Mulde Bridge before it was released for traffic was repeated. The previous load

positions were again used. It could be shown that the excellent load-bearing behaviour did not change over eight years of use. The high rigidity of the superstructure remains unchanged.

It was generally found that the high-strength concrete bridges investigated in this study meet the requirements regarding durability and load-bearing behaviour. It might be worthwhile to investigate how many other components (in particular pillars) made of high-strength concrete show similar alligator cracks. A comparison of the building logs might allow conclusions concerning the factors affecting crack formation.

The original report includes the following appendices: overviews of the positions of sampling points for the chloride samples and carbonation measurements (APP. 1), investigation reports of MFPA Leipzig GmbH concerning chloride and carbonation measurements (APP. 2), information concerning the vehicles for the stress test at the Glauchau Mulde Bridge (APP. 3) as well as the results of the stress test (APP. 4). These documents were not included in the present publication. They can be viewed at the Federal Highway Research Institute. References to the appendices in the report text were retained for the information of the reader.

Inhalt

1	Aufgabenstellung und Projektverlauf	7
2	Visuelle Überprüfung der Bauwerke	7
2.1	Bauwerk 27-1 Überführung eines Wirtschaftsweges, Buchloe	7
2.2	BW 10/13 Überführung des Eigentümerweges „Freihamer Allee“, München	9
2.3	Brücke im Zuge der Straße nach Wölkau über die BAB A 17	12
3	Prüfungen zur Bewertung der Dauerhaftigkeit	15
3.1	Bauwerk 27-1 Buchloe	15
3.1.1	Karbonatisierung	15
3.1.2	Chlorideindringung	15
3.2	BW 10/13 Freihamer Allee	16
3.2.1	Karbonatisierung	16
3.2.2	Chlorideindringung	17
3.3	Bogenbrücke Wölkau A 17	18
3.3.1	Karbonatisierung	18
3.3.2	Chlorideindringung	18
3.4	Zusammenfassung	19
4	Probebelastung an der Muldebrücke Glauchau	19
4.1	Durchführung der Probe- belastungen	20
4.2	Auswertung der Durchbiegungen	21
5	Zusammenfassung	24
6	Literatur	25

1 Aufgabenstellung und Projektverlauf

Durch seine hohe Druckfestigkeit und sehr guten Dauerhaftigkeitseigenschaften ist hochfester Beton besonders für Bauteile mit besonderen Anforderungen geeignet, insbesondere in Kombination mit einer Vorspannung. Aus diesem Grund wurden in den vergangenen Jahren einige vorgespannte Brückenbauwerke als Pilotprojekte mit sehr guten Erfahrungen durchgeführt. Eine Zusammenstellung kann [2] entnommen werden. Insgesamt konnte festgestellt werden, dass für die Anwendung von hochfestem Beton im Brückenbau ein höherer Aufwand für die Herstellung, Verarbeitung und Qualitätssicherung erforderlich ist als bei normalfestem Beton. Bei entsprechender Sorgfalt konnten aber Brückenbauwerke aus hochfestem Beton auch von solchen Baufirmen errichtet werden, die bis dato nur über wenige Erfahrungen mit hochfestem Beton aufweisen konnten. Alle Bauwerke weisen nach der Herstellung sehr gute Bauwerksqualität aus.

Im Rahmen des vorliegenden Vorhabens sollten einige unter Verkehr stehende Brückenbauwerke aus hochfestem Beton hinsichtlich der visuell zu bewertenden Oberflächenbeschaffenheit (Beurteilung des Frost-Tausalz-Widerstandes, Prüfung auf eventuell vorhandene Verwitterungen) und der mit Hilfe von Messungen ermittelten Karbonisierungstiefe und Chlorideindringung bewertet werden. Die Ergebnisse sollten der Beurteilung der Dauerhaftigkeit der Bauwerke dienen.

Zur Durchführung der entsprechenden Untersuchungen wurden die folgenden Bauwerke ausgewählt:

- Brücke im Zuge der Straße nach Wölkau über die BAB A 17, BW-Nr. 5048569,



Bild 1: Ansicht Brücke Buchloe

- Überführung des Eigentümerweges „Freihamer Allee“ über die BAB A 96/99, BW-Nr. 7834699,
- BW 27-1 Überführung eines Wirtschaftsweges, Buchloe, BW-Nr. 7930585.

Weiterhin sollte an der Muldebrücke Glauchau der bereits vor Verkehrsfreigabe durchgeführte Belastungstest wiederholt werden, um aus den Ergebnissen Rückschlüsse eventuelle Spannkraftverluste und Rissbildung ziehen zu können.

2 Visuelle Überprüfung der Bauwerke

2.1 Bauwerk 27-1 Überführung eines Wirtschaftsweges, Buchloe

Das Bauwerk 27-1 (neue Bezeichnung lt. Bauwerksbuch: BW 106-1) in Buchloe wurde im Jahr 1998 als Überführung eines Wirtschaftsweges über die Autobahn A 96 erstellt. Es handelt sich um ein Zweifeldbauwerk mit einem Vollplattenquerschnitt. Der Überbau und der Pfeiler wurden aus B 85 hergestellt. Die Widerlager und Fundamente bestehen aus B 25. Im Rahmen der Bauwerksbesichtigung vor Ort am 6. April 2010 wurde die Oberflächenbeschaffenheit des Pfeilers sowie der zugänglichen Stellen des Überbaus (im Bereich der Überholspur bzw. des Standstreifens in Fahrtrichtung Memmingen) untersucht.

Überbau

Der Überbau zeigt insgesamt eine gleichmäßige, gute Oberflächenstruktur. Die Schalungsstruktur – sägerauh – ist sehr gut sichtbar, die Oberfläche ist fest und nicht absandend (siehe Bilder 2 bis 4). Risse sind in den untersuchten Bereichen nicht sichtbar. Vereinzelt sind Abstandhalter an der Oberfläche zu erkennen (siehe Bild 5). Der umgebende Beton ist jedoch in guter Qualität. An wenigen Stellen sind Nägel bzw. rostender Bindedraht zu erkennen, die sicherlich vor Betonage nicht aus der Schalung entfernt wurden. An Achse 10 sind an der Fuge zwischen Kappe und Überbaubeton an der Unterseite leichte Aussinterungen zu erkennen, die jedoch ebenfalls auf die Bauausführung zurückgeführt werden könnten.



Bilder 2 bis 4: Oberflächenstruktur des Überbaus



Bild 5: Vereinzelt sichtbare Abstandhalter an der Unterseite des Überbaus

Insgesamt kann aufgrund der Sichtprüfung festgestellt werden, dass sich das Bauwerk in einem sehr guten Zustand befindet.



Bild 6: Stirnseite des Pfeilers mit Netzzissen

Pfeiler

Der Pfeiler in Achse 20 zeigt eine deutliche Netzrissbildung (siehe Bild 6). Diese war nach Aussage des zuständigen Bauwerksprüfers bereits bei Abnahme vorhanden und ist seitdem unverändert. Die Breite der Netzrisse ist nicht messbar. Es handelt sich um Krakeleerisse mit sehr geringer Tiefe aufgrund der Eigenspannungen an der Bauteiloberfläche. Aufgrund des vorangegangenen Regens waren die Netzrisse jedoch sehr gut sichtbar.

Deutlich zu erkennen war eine Dunkelfärbung des Betons im unteren Bereich (siehe Bild 7), bis zu einer Höhe von ca. 3 m. Deutlich wird dieser Farbunterschied auch am Übergang Pfeiler – Überbau (Bild 8).

Ansonsten zeigt auch der Pfeiler eine feste, nicht absandende Oberflächenstruktur. Die Schalungsstruktur ist gut erkennbar.



Bild 7: Dunkelfärbung des Pfeilers Achse 20

2.2 BW 10/13 Überführung des Eigentümerweges „Freihamer Allee“, München

Das Bauwerk 10/13 (neue Bezeichnung lt. Bauwerksbuch: BW 163/4) in München wurde im Jahr 2001 als Überführung eines Eigentümerweges über die Autobahn A 96 erstellt.

Das Bauwerk besteht aus drei Feldern, von denen zwei die A 96 und eines die Einfädelspur zur A 96 überqueren. Der Überbau und der Pfeiler in Achse 30 wurden aus B 85 hergestellt, der Pfeiler Achse 20 besteht aus B 35. Die Widerlager und Fundamente bestehen aus B 25, das Widerlagerfundament in Achse 40 wurde ebenfalls aus B 85 hergestellt, ist aber nun nicht mehr zugänglich.

Im Rahmen der Bauwerksuntersuchung vor Ort wurde die Oberflächenbeschaffenheit der Pfeiler sowie der zugänglichen Stellen des Überbaues (im Bereich der Überholspur in der Einfädelspur Richtung München und in der Überholspur der Fahrtrichtung München untersucht. Die Bauwerksbeichtigung fand am 7. April 2010 statt.

Überbau

Auch bei diesem Bauwerk kann festgestellt werden, dass sich die Oberfläche des Überbaues generell in einem guten Zustand befindet, es sind jedoch Farbunterschiede (Flecken) auf der gesamten Überbauunterseite – wahrscheinlich zurückzuführen auf unterschiedliche Schalöldosierungen – festzustellen (siehe Bild 9).

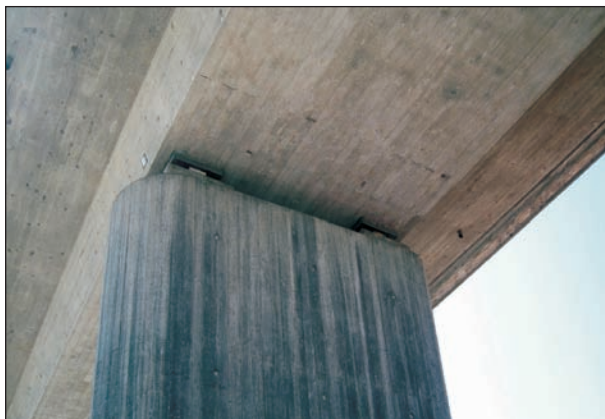


Bild 8: Farbunterschied zwischen Pfeiler und Überbau



Bild 9: Überbauuntersicht Feld 3 (Achse 30-40)



Bilder 10 und 11: Kragarm Überbau im Bereich der Kappe



Bild 12: Abstandhalter an der Überbauuntersicht

An den Stößen der Schalbretter lassen sich vereinzelte Kiesnester feststellen, ebenso an der Außenkante des Kragarms im Kontaktbereich zur Kappe (siehe Bilder 10 und 11). Möglicherweise kam es an diesen Stellen während der Bauausführung zu einer ungenügenden Verdichtung oder auch Undichtigkeiten in der Schalung.

In den besichtigten Bereichen wurden keine Risse festgestellt. An wenigen Stellen waren Abplatzungen der Größenordnung 1-2 cm² (siehe Bild 13) bzw. teilweise rostende Nägel oder Bindedraht geringer Größenordnung sichtbar. An einigen Stellen sind Abstandhalter an der Betonoberfläche zu sehen (siehe Bild 12). Die Abplatzungen entstanden vermutlich bereits beim Ausschalen. Die Oberfläche des Überbaus ist nicht absandend und insgesamt in einem guten Zustand.



Bild 13: Abplatzungen geringen Umfangs an der Kragarmuntersicht des Überbaus

Pfeiler Achse 30, B 85

Der Pfeiler in Achse 30 wurde aus B 85 hergestellt. Die Oberfläche des Pfeilers zeigt auf der südwestlichen Seite (insbesondere an der Stirnseite) eine ausgeprägte Netzrissbildung über die gesamte Pfeilerhöhe, nach oben hin tendenziell zunehmend. Im oberen Bereich des Pfeilers waren leichte Verfärbungen feststellbar (s. Bilder 14 bis 16).



Bild 14: Gesamtansicht Pfeiler Achse 30, Ansicht von Nordwesten



Bild 15: Netzrissbildung Pfeiler Achse 30



Bild 16: Leichte Verfärbungen im oberen Bereich des Pfeilers Achse 30

Pfeiler Achse 20, B 35

Der Pfeiler in Achse 20 wurde in B 35 hergestellt. Er weist insgesamt deutlich weniger Netzrisse auf als der Pfeiler mit B 85. Netzrisse sind hier hauptsächlich an den Stirnseiten festzustellen (siehe Bild 17).

Am Pfeiler sind kleinere Kiesnester bis ca. 2 cm² (siehe Bild 18) und eine leicht dunkle Färbung, evtl. zurückzuführen auf Verschmutzungen durch den rollenden Verkehr, feststellbar.



Bild 17: Gesamtansicht Pfeiler Achse 20 (B 35)



Bild 18: Kiesnest an Schalungsstoß

2.3 Brücke im Zuge der Straße nach Wölkau über die BAB A 17

Die Brücke Wölkau wurde im Jahr 2004 gebaut. Dabei wurde der Bogen aus SVB 65 hergestellt, die Überbauplatte aus B 65. Ein Teil des Bogenwiderlagers in Achse 20 wurde ebenfalls mit SVB 65 ausgeführt. Die Brücke überführt eine Gemeindestraße über die Autobahn A 17 von Dresden nach Prag (Bild 19). Die Bauwerksuntersuchung vor Ort fand am 27.04.2010 statt.

Bogenstiel Achse 10 (SVB 65)

Der Bogenstiel in Achse 10 weist eine ausgeprägte Dunkelfärbung an der Unterseite auf, die insbesondere im Vergleich zum Bogenstiel der Achse 20 (ebenfalls SVB 65) auffällt, vgl. Bilder 21 und 22.



Bild 19: Gesamtansicht Brücke Wölkau



Bild 20: Seitenfläche Bogenstiel Achse 20

Die Dunkelfärbung ist vermutlich auf ein Absetzen von Flugasche zurückzuführen. Dieser Bogenstiel wurde in der Bauphase erst in einer zweiten Betonage realisiert.

Der hierfür verwendete SVB wies eine deutlich höhere Fließfähigkeit und längere Verarbeitbarkeit auf als der für den Bogenstiel in Achse 20. Die Bogenoberseite weist eine leichte Netzrisbildung auf. Auf der Bogenunterseite sind zahlreiche Abstandhalter sichtbar.

Ebenfalls ist eine Lagenbildung des Betons an der Seitenfläche sichtbar, insbesondere in der Nähe des Einfüllstutzens (vgl. Bild 20).



Bild 21: Dunkelfärbung Bogenstiel Achse 10

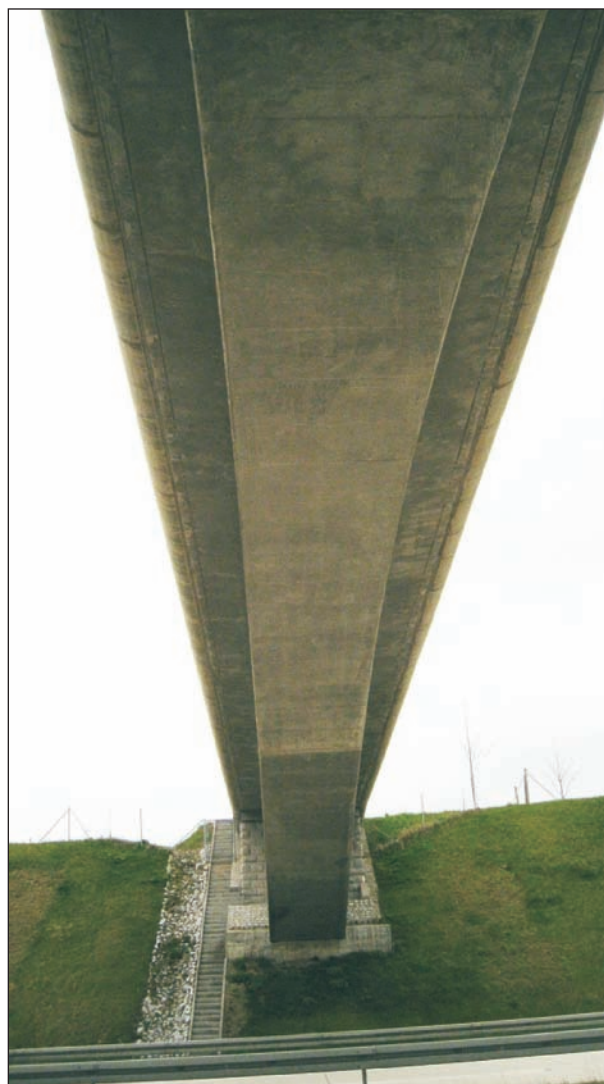


Bild 22: Gesamtansicht Bogen Achse 10

Bogenstiel Achse 20 (SVB 65)

Der Bogenstiel in Achse 20 weist auf der Oberseite deutlich mehr Luftporen mit Durchmessern bis zu 4 cm auf (siehe Bilder 23 und 24). Das deutet darauf hin, dass an diesen Stellen die Entlüftung des Betons während der Betonage nicht ausreichend war. Ursache hierfür lag sicherlich an die bereits erwähnten unterschiedlichen Fließfähigkeit des SVB für die beiden Bogenhälften.

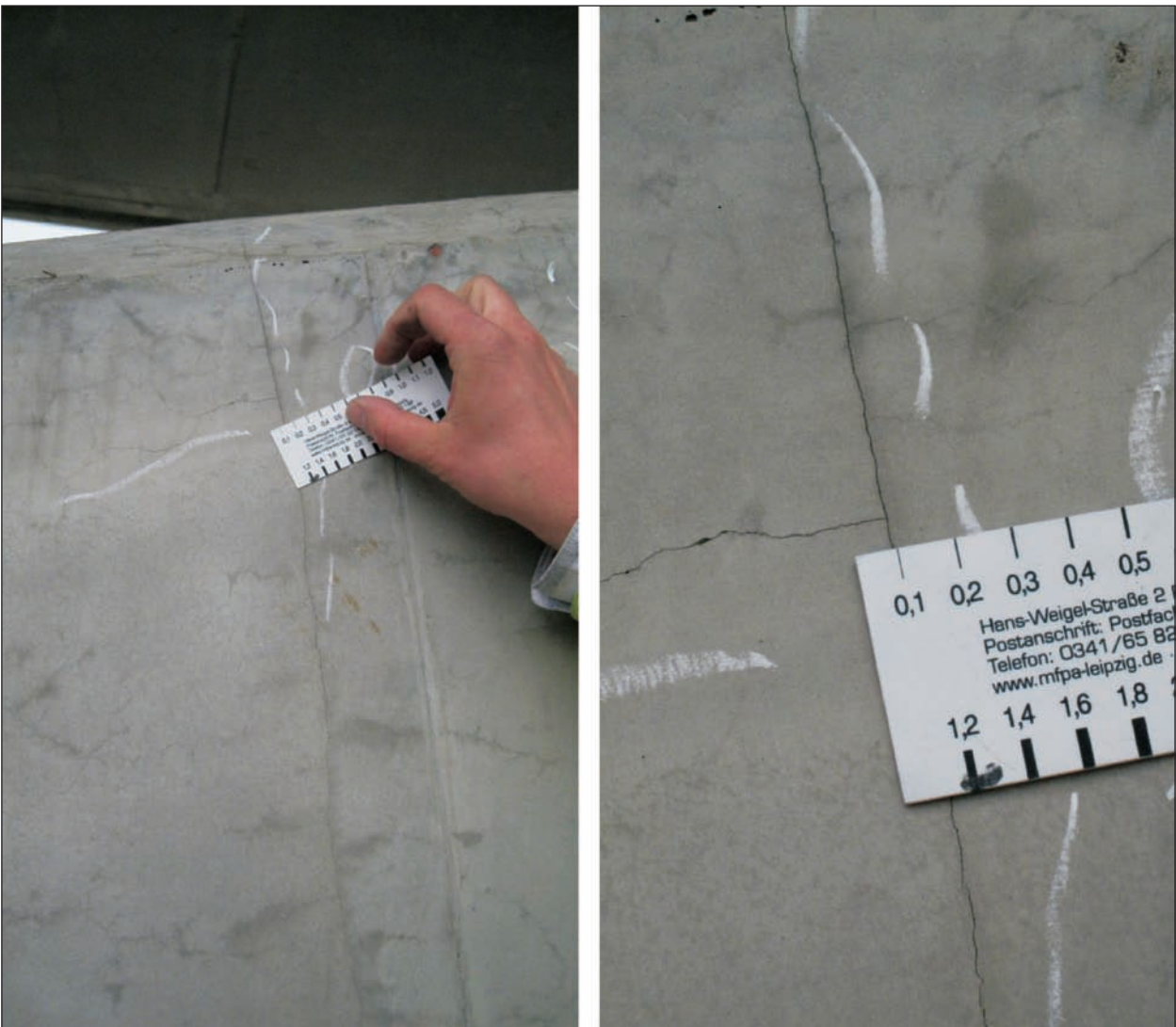
An der Bogenstirnseite zeigen sich mehrere senkrecht zur Bogenoberseite verlaufende Risse mit Breiten von bis zu 0,15 mm, die sich bis auf die Bogenoberseite fortpflanzen (siehe Bilder 25 und 26). Es handelt sich hierbei um Oberflächenrisse infolge Eigenspannungen. Die Risstiefe ist gering. Diese Risse dürften keinen Einfluss auf die Tragfähigkeit des Bauwerks haben.

Die Bogenunterseite ist glatt und frei von Rissen, teilweise sind Abstandhalter sichtbar.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass der Beton eine feste, nicht absandende Struktur besitzt.



Bilder 23 und 24: Oberseite des Bogenstiels in Achse 20



Bilder 25 und 26: Riss an Bogenstirnseite mit $w = 0,15 \text{ mm}$

Bogenfußpunkt Achse 20 (SVB 20)

Der Bogenfußpunkt in Achse 20 wurde im Rahmen eines großmaßstäblichen Verarbeitungsversuchs (Probekbetonage) in SVB hergestellt, um sich zum einen mit den besonderen Herstellungs- sowie Ver-

arbeitungsbedingungen und zum anderen mit dem erforderlichen QS-System für den SVB vertraut zu machen.

Der Bogenfußpunkt weist eine Vielzahl von Netzrissen auf, die zum Zeitpunkt der Besichtigung auf-



Bild 27: Bogenfußpunkt Achse 20

grund vorangegangenen Regens sehr gut sichtbar waren. Die Oberfläche des Betons war jedoch fest und ohne weitere Beanstandungen.

3 Prüfungen zur Bewertung der Dauerhaftigkeit

An den drei untersuchten Bauwerken wurden neben der visuellen Beurteilung der Bauteile aus hochfestem Beton an mehreren Stellen Proben in jeweils drei Tiefen für die Ermittlung des Chloridgehalts entnommen und die Karbonisierungstiefe bestimmt. Die Probenahme und die Laboruntersuchungen wurden von der MFPA Leipzig GmbH durchgeführt.

Die Lage der Entnahmepunkte für die Chloridmessungen und die Bestimmung der Karbonisierungstiefe an den einzelnen Brücken sowie eine Zusammenstellung aller Messwerte kann dem Anhang 1 entnommen werden.

3.1 Bauwerk 27-1 Buchloe

Am Bauwerk Buchloe wurden Chlorid- und Karbonisierungsmessungen an 2 Punkten der Überbauuntersicht (jeweils rechte /Prüfstelle 1/ und linke /Prüfstelle 5/ Fahrspur der Fahrtrichtung von München) und an 3 Punkten in unterschiedlichen Höhen am Pfeiler Achse 20 durchgeführt. Die Tabelle 1 gibt die Messergebnisse wieder, die aus dem Untersuchungsbericht UB 1.1/10-070-1 der MFPA Leipzig (siehe Anlage 2) zusammengefasst wurden.

3.1.1 Karbonatisierung

Die Messung der Karbonisierungstiefe am Pfeiler der Brücke Buchloe zeigte, dass trotz der zahlreichen Netzrisse der Beton nicht karbonatisiert ist.

Bauwerk Buchloe				
Bauteil	Bezeichnung Entnahmepunkt	Karbonisierungstiefe [mm]	Chloridgehalt [M.-% Beton]	Entnahmetiefe [mm]
Überbau- Unterseite, rechte Fahrspur	BM 1/1.1	2 bis 3	0,094	0-10 mm
	1.2		0,020	10-25 mm
	1.3		0,011	25-40 mm
Mittelpfeiler, h = 1,50 m ü. GOK	BM 2/2.1	0 bis 1	0,129	0-10 mm
	2.2		0,019	10-25 mm
	2.3		0,011	25-40 mm
Mittelpfeiler, h = 2,80 m ü. GOK	BM 3 / 3.1	0 bis 1	0,121	0-10 mm
	3.2		0,043	10-25 mm
	3.3		0,017	25-40 mm
Mittelpfeiler, h = 4,80 m ü. GOK	BM 4/4.1	0 bis 1	0,062	0-10 mm
	4.2		0,016	10-25 mm
	4.3		0,011	25-40 mm
Überbau- Unterseite, linke Fahrspur	BM 5 / 5.1	1 bis 2	0,034	0-10 mm
	5.2		0,014	10-25 mm
	5.3		0,014	25-40 mm

Tab. 1: Übersicht über Karbonisierungstiefen und Chloridgehalte am Bauwerk Buchloe

Der Überbau hingegen zeigt eine Karbonatisierung mit einer Tiefe von 2 bis 3 mm. Eine Hochrechnung der zu erwartenden Karbonisierungstiefe mit dem gängigen Karbonisierungsmodell ergibt, dass eine Karbonisierungstiefe von ca. 10 mm nach 80 Nutzungsjahren zu erwarten ist, sofern die gleichen Umgebungsbedingungen vorliegen. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass während der Nutzungsdauer des Bauwerkes die Karbonisierungsfront die Bewehrung nicht erreichen wird.

3.1.2 Chlorideindringung

Die Chlorideindringung wurde in den im Anhang 1 ausgewiesenen Punkten jeweils in drei Tiefen (10 mm, 25 mm sowie 40 mm) mittels Bohrmehlproben bestimmt. Dabei wurden die Entnahmepunkte in den Überbauten so gewählt, dass sie im Sprühnebelbereich der Autobahn liegen.

Für das Bauwerk Buchloe liegen die Chloridgehalte an der Oberfläche der Konstruktion jeweils in relativ hohen Bereichen, da bezogen auf den Zementgehalt (380 kg/m^3) folgende Werte angegeben werden können:

- Überbau, rechte Fahrspur: 0,48 M.-%-Z.,

- Pfeiler, 1,5 m über GOK 0,65 M-%-Z.

Hierbei wird angenommen, dass im Bereich 0-10 mm der Zementleimgehalt 30 % höher als in üblichen Bereichen ist.

Der hohe Chloridgehalt ist zum einen auf die unmittelbar im Abschluss an die Winterperiode durchgeführte Probenahme zurückzuführen. Zum anderen zeigen die direkt mit dem taumittelhaltigen Sprühnebel bzw. Spritzwasser beaufschlagten Randbereichen generell die höchsten Chloridgehalte, die mit zunehmender Tiefe in allen Höhenlagen des Pfeilers exponentiell abnehmen.

Die Chloridprofile des Überbaus (Bild 28) zeigen die tendenziell höhere Chloridbeanspruchung der rechten Fahrspur, wobei es sich hierbei um Einzel-

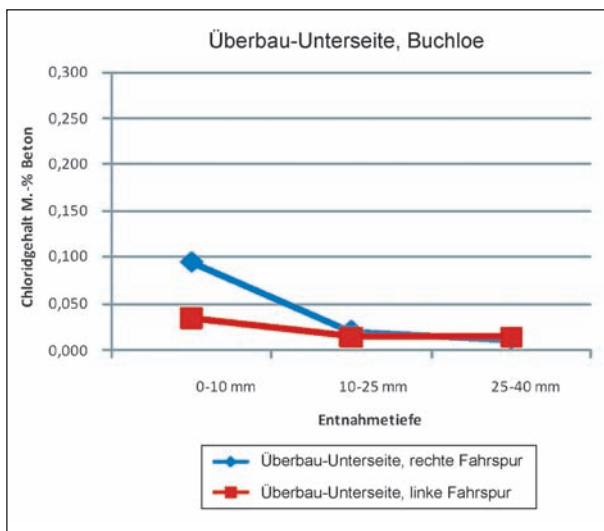


Bild 28: Chloridprofile des Überbaus Buchloe

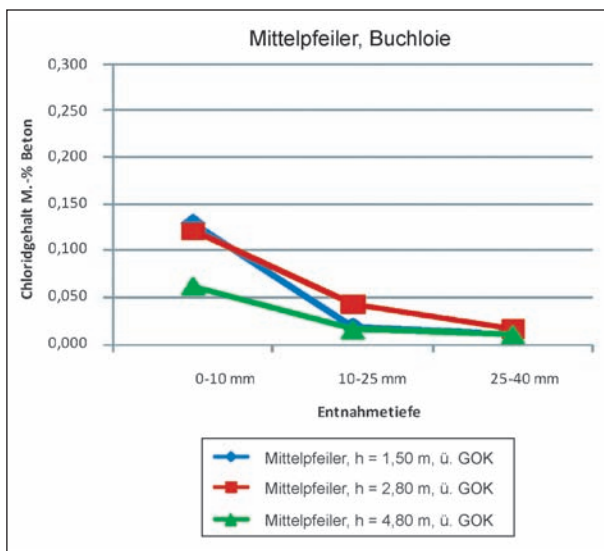


Bild 29: Chloridprofile des Mittelpfeilers Buchloe

werte handelt, sodass zur Bestätigung von allgemeingültigen Schlussfolgerungen deutlich mehr Messwerte erforderlich wären.

Der Pfeiler zeigt in den Entnahmehöhen 1,50 m und 2,80 m im Vergleich zum Überbau deutlich höhere Chloridgehalte in den Randbereichen. In den tieferen Schichten gleichen sich die Chloridgehalte mit ca. 0,015 M-% Beton (Bild 29). Die höheren Chloridgehalte können hier auf die höhere Taumittelbelastung zurückgeführt werden.

3.2 BW 10/13 Freihamer Allee

Am Bauwerk Freihamer Allee wurden Chlorid- und Karbonatisierungsmessungen an 2 Punkten der Überbauunterseite (jeweils linke Fahrspur der Fahrtrichtung München bzw. Einfädelspur Richtung München) und an 7 Punkten in unterschiedlichen Höhen an den Pfeilern Achse 20 und 30 durchgeführt. Tabelle 2 gibt die Messergebnisse wieder, die aus dem Untersuchungsbericht UB 1.1/10-070-2 der MFPA Leipzig (siehe Anlage 2) zusammengefasst wurden.

3.2.1 Karbonatisierung

Der direkte Vergleich am Bauwerk Freihamer Allee zwischen dem Pfeiler Achse 30 (B 85) und dem Pfeiler Achse 20 (B 35) zeigt deutlich das wesentlich bessere Abschneiden des B 85. Während nach ca. 9 Jahren Nutzungszeit der Pfeiler aus B 35 (Achse 20) eine Karbonatisierungstiefe von ca. 2 bis 5 mm zeigt, wurde am Pfeiler aus B 85 keine Karbonatisierung gemessen.

Am Überbau des Bauwerks ist ebenfalls keine Karbonatisierung festgestellt worden.

3.2.2 Chlorideindringung

Die Chloridgehalte der Randbereiche in den Überbau-Unterseiten der Brücke Freihamer Allee unterscheiden sich in den betrachteten Feldern (Bild 30).

Die höheren Werte sind im Feld zwischen Achse 20 und 30 zu verzeichnen. In diesem Bereich war die Autobahn seit dem Bau bzw. der Verkehrsfreigabe des Brückenbauwerks in Benutzung, währenddessen das Feld 30-40 über der Zubringerspur zur A 96 erst im Jahre 2004/2005 in Betrieb gegangen ist. Insofern lassen sich die unterschiedlichen Chloridge-

Bauwerk Freihamer Allee, München				
Bauteil	Bezeichnung Entnahme- punkt	Karbona- tisierungstiefe [mm]	Chlorid- gehalt [M.-% Beton]	Entnahme- tiefe [mm]
Pfeiler Achse 30, h=1,0 m ü.GOK (B85)	BM 6/6.1	Nicht bestimmt	0,123	0-10 mm
	6.2		0,033	10-25 mm
	6.3		0,012	25-40 mm
Pfeiler Achse 30, h=3,0 m ü.GOK	BM 7/7.1	0 bis 1	0,091	0-10 mm
	7.2		0,014	10-25 mm
	7.3		0,012	25-40 mm
Pfeiler Achse 30, h=4,50 m ü.GOK	BM 8/8.1	0 bis 1	0,085	0-10 mm
	8.2		0,020	10-25 mm
	8.3		0,014	25-40 mm
Überbau- Unterseite	BM 9/9.1	0 bis 1	0,022	0-10 mm
	9.2		0,020	10-25 mm
	9.3		0,018	25-40 mm
Pfeiler Achse 30, h=2,10 m ü.GOK	BM 10/10.1	0 bis 1	0,154	0-10 mm
	10.2		0,018	10-25 mm
	10.3		0,014	25-40 mm
Pfeiler Achse 20, h=1,0 m ü.GOK (B 35)	BM 11/11.1	Nicht bestimmt	0,241	0-10 mm
	11.2		0,149	10-25 mm
	11.3		0,030	25-40 mm
Pfeiler Achse 20, h=3,0 m ü.GOK (B 35)	BM 12/12.1	2 bis 3	0,122	0-10 mm
	12.2		0,033	10-25 mm
	12.3		0,012	25-40 mm
Pfeiler Achse 20, h=4,30 m ü.GOK (B 35)	BM 13/13.1	3 bis 5	0,182	0-10 mm
	13.2		0,122	10-25 mm
	13.3		0,032	25-40 mm
Überbau- Unterseite Feld 20-30	BM 14/14.1	0 bis 1	0,036	0-10 mm
	14.2		0,013	10-25 mm
	14.3		0,013	25-40 mm

Tab. 2: Übersicht über Karbonatisierungstiefen und Chloridgehalte am Bauwerk Freihamer Allee

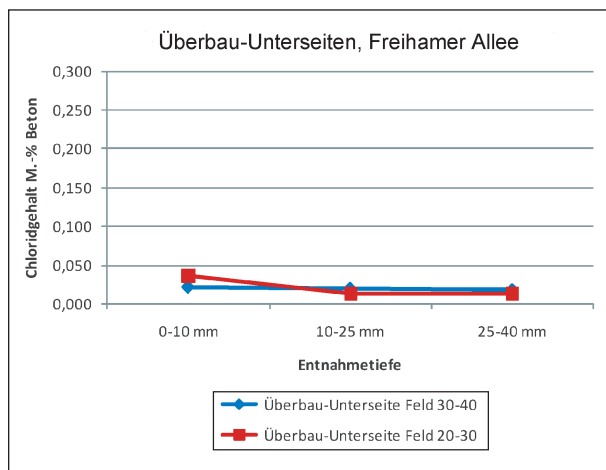


Bild 30: Chloridprofile des Überbaus

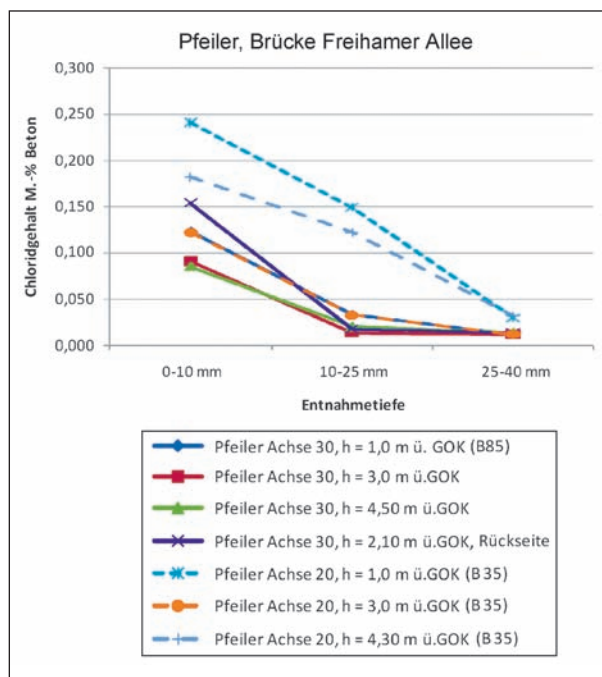


Bild 31: Chloridprofile der Pfeiler Achse 20 (B 35) und 30 (B 85)

halte mit der unterschiedlichen langen Sprühnebelbeaufschlagung erklären.

Insgesamt sind jedoch die Chloridgehalte im Bereich 0 bis 10 mm mit 0,02 bis 0,035 M.-% Beton deutlich niedriger als im Überbau der rechten Fahrspur der Brücke Buchloe (ca. 0,1 M.-% Beton) und liegen damit in ähnlicher Höhe wie die Werte der linken Fahrspur Buchloe.

Die Chloridgehalte im Pfeiler aus hochfestem Beton B 85 (Bild 31) liegen mit 0,08 bis 0,15 M.-% Beton im Randbereich in etwa in der gleichen Größenordnung wie bei dem Pfeiler der Brücke Buchloe (B 85).

Im direkten Vergleich zwischen dem Pfeiler aus B 85 und dem aus B 35 lässt sich deutlich der höhere Chloridgehalt im B 35 nachweisen. Dort liegen die Werte in den Randbereichen mit 0,24 M.-% Beton in 1,0 m Höhe über Gelände bzw. 0,12 M.-% Beton in 3,0 m Höhe über Gelände deutlich höher als bei dem Pfeiler aus B 85. Dort wurden in 1,0 m Höhe über Gelände 0,123 M.-% Beton und in 3,0 m Höhe 0,091 M.-% Beton gemessen. Von wesentlich größerer Bedeutung ist der schnellere Abbau der Chloridbelastung mit zunehmender Tiefe beim Pfeiler aus hochfestem Beton. Dies verdeutlicht den positiven Einfluss der feineren Porenstruktur des hochfesten Betons auf

die Dauerhaftigkeitseigenschaften. Für die weitere Entwicklung im Zusammenhang mit hochfesten Werkstoffen wäre es sehr sinnvoll, diese wesentlichen Erkenntnisse durch weitere Bauwerksuntersuchungen zu ergänzen.

Weiterhin zeigen die Messwerte, dass die Chloridbelastung in den Randbereichen der Pfeiler mit zunehmender Höhe des Pfeilers leicht abnimmt

3.3 Bogenbrücke Wölkau A 17

Tabelle 3 gibt die Messergebnisse an der Bogenbrücke Wölkau wieder, die aus dem Untersuchungsbericht UB 1.1/10-070-2 der MFPA Leipzig (siehe Anlage 2) zusammengefasst wurden. Es wurden Chlorid- und Karbonatisierungsmessungen an 4 Punkten der Bogenunterseiten und an einem Punkt des Bogenwiderlagers in Achse 20 durchgeführt.

Bauwerk Wölkau				
Bauteil	Bezeichnung Entnahmepunkt	Karbonatisierungstiefe [mm]	Chloridgehalt [M.-% Beton]	Entnahmetiefe [mm]
Bogenunterseite, FR Pirna/Prag, Standstreifen	1.1	0 bis 1	0,030	0-10 mm
	1.2		0,023	10-25 mm
	1.3		0,021	25-40 mm
Bogenunterseite, FR Pirna/Prag, Standstreifen	2.1	0 bis 1	0,024	0-10 mm
	2.2		0,019	10-25 mm
	2.3		0,016	25-40 mm
Bogenunterseite, FR Dresden, Standstreifen	3.1	0 bis 1	0,022	0-10 mm
	3.2		0,016	10-25 mm
	3.3		0,017	25-40 mm
Bogenunterseite, FR Dresden, Standstreifen	4.1	0 bis 1	0,024	0-10 mm
	4.2		0,020	10-25 mm
	4.3		0,018	25-40 mm
Widerlager Achse 20 (SVB 65)	2A	0 bis 1		

Tab. 3: Übersicht über Karbonatisierungstiefen und Chloridgehalte an der Brücke Wölkau

3.3.1 Karbonatisierung

Die Brücke Wölkau aus SVB 65 zeigt an den Bogenunterseiten keine Karbonatisierung. Dies ist sowohl auf die hohe Dichtigkeit des Betons als auch auf das mit 6 Jahren zum Zeitpunkt der Messung recht junge Alter der Brücke zurückzuführen.

3.3.2 Chlorideindringung

Bei der Brücke Wölkau wurden vier Proben jeweils aus der Unterseite des Bogenstiels (SVB 65) entnommen. Die Brücke wurde im Jahr 2004 errichtet und ist mit einem Alter von 6 Jahren zum Zeitpunkt der Messung die jüngste der drei untersuchten Brücken. Das zeigt sich auch an den gemessenen Chloridgehalten, die mit 0,02 bis 0,03 M.-% Beton im Tiefenbereich 0-10 mm leicht unter denen der anderen Brücken liegen (Bild 32).

Interessant bei diesem Bauwerk ist die relativ geringe Abnahme der Chloridgehalte mit zunehmender Entnahmetiefe der Probe. Dies deutet darauf hin, dass die zusätzliche Chloridbelastung nur unwesentlich höher als der bereits im Beton vorhandene Chloridgehalt ist.

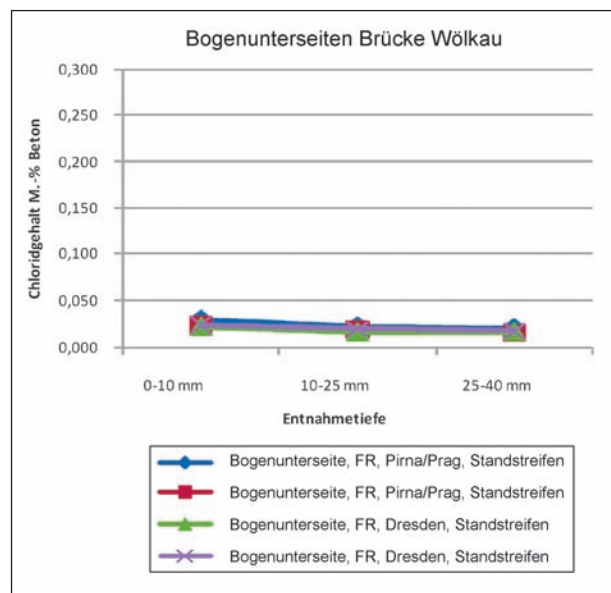


Bild 32: Chloridprofile der Bogenunterseiten Wölkau

3.4 Zusammenfassung

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass zum jetzigen Zeitpunkt (Alter der Bauwerke: Buchloe 12 Jahre, Freihamer Allee 9 Jahre, Wölkau 6 Jahre) die Karbonatisierung der Bauteile aus hochfestem Beton keine Einschränkung der Dauerhaftigkeit darstellt. Es konnten nahezu keine Karbonatisierungstiefen festgestellt werden. Im Vergleich mit dem normalfesten Beton B 35 weist der hochfeste Beton B 85 deutlich geringere Karbonatisierungstiefen bei sonst gleichen Randbedingungen auf. Hinsichtlich der Chlorideindringtiefen lässt sich feststellen, dass die Bauteile aus hochfestem Beton eine sehr moderate Chlorideindringtiefe aufweisen. Deutlich ist der Unterschied zwischen den beiden Pfeilern (B 35 bzw. B 85) der Brücke Freihamer Allee feststellbar. Hier wird deutlich, dass der Pfeiler aus hochfestem Beton wesentlich bessere Dauerhaftigkeitseigenschaften aufweist als der Pfeiler aus B 35.

Weiterhin ist anzumerken, dass frei bewitterte Flächen aus hochfestem Beton eine stärkere Netzrissbildung aufweisen als bei normalfestem Beton. Dies ist zum einen auf den höheren Leimgehalt und zum anderen auf die dichtere Mikrostruktur des hochfesten Betons zurückzuführen. Diese beiden Faktoren erhöhen die Eigenspannungen im Randbereich deutlich. Diese Netzrisse haben keinen Einfluss auf die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit des jeweiligen Bauwerks.

4 Probelastung an der Muldebrücke Glauchau

Die Brücke im Zuge der B 175 über die Zwickauer Mulde bei Glauchau („Muldebrücke Glauchau“) stellt die bislang größte Anwendung von Hochleistungsbeton im Brückenbau in Deutschland dar.

Es handelt sich um ein fünffeldriges Bauwerk mit Vollplattenquerschnitt (siehe Bild 33).

Das Bauwerk besteht aus zwei getrennten Überbauten, die als massive Platte mit beidseitigen Kragarmen ausgeführt sind.

Aufgrund der außergewöhnlich großen Schlankheit des Überbaus ($\max \lambda = l/h = 37$) wurde vor Verkehrsfreigabe des Bauwerks im Jahr 2002 eine Probelastung durchgeführt, um die Annahmen der statischen Modelle zu überprüfen. Dabei konnte festgestellt werden, dass sich eine sehr gute Übereinstimmung zwischen gemessenen und gerechneten Werten der Durchbiegungen ergab [1]. Mit der gemessenen maximalen Durchbiegung (10 mm im Feld 2) konnte die hohe Steifigkeit des Überbaus bestätigt werden.

Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurde die im Jahr 2002 erstmals durchgeführte Probelastung wiederholt, um Rückschlüsse auf das Verformungsverhalten des Überbaus seit Verkehrsfreigabe ziehen zu können. Dazu wurde am 29.05.2010 der nördliche Überbau voll für den Verkehr gesperrt.

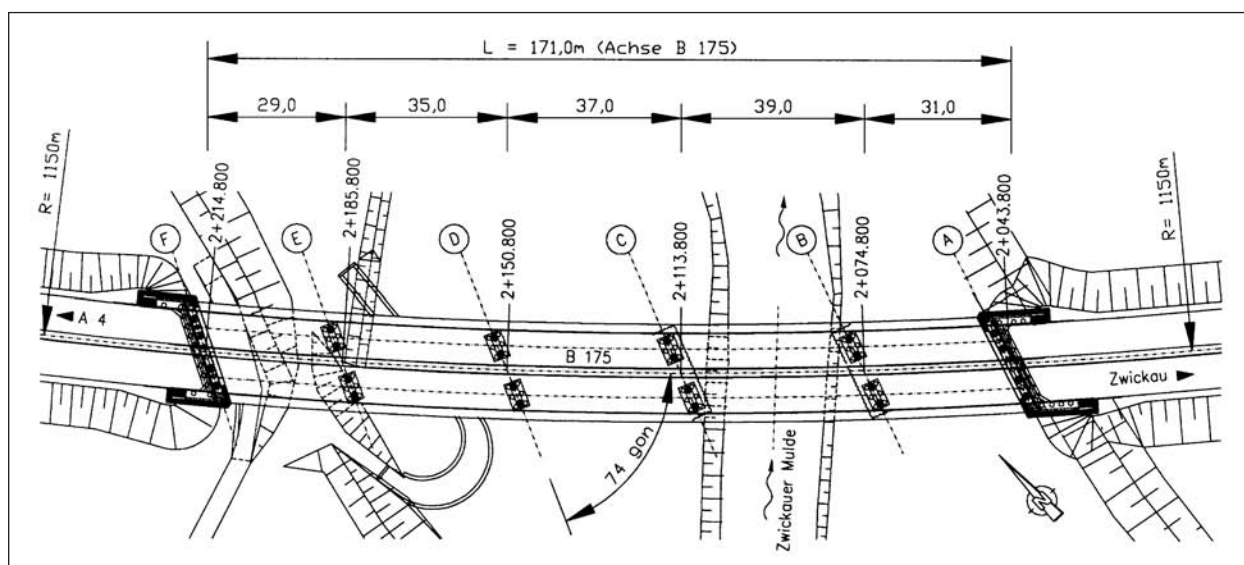


Bild 33: Grundriss des Bauwerks

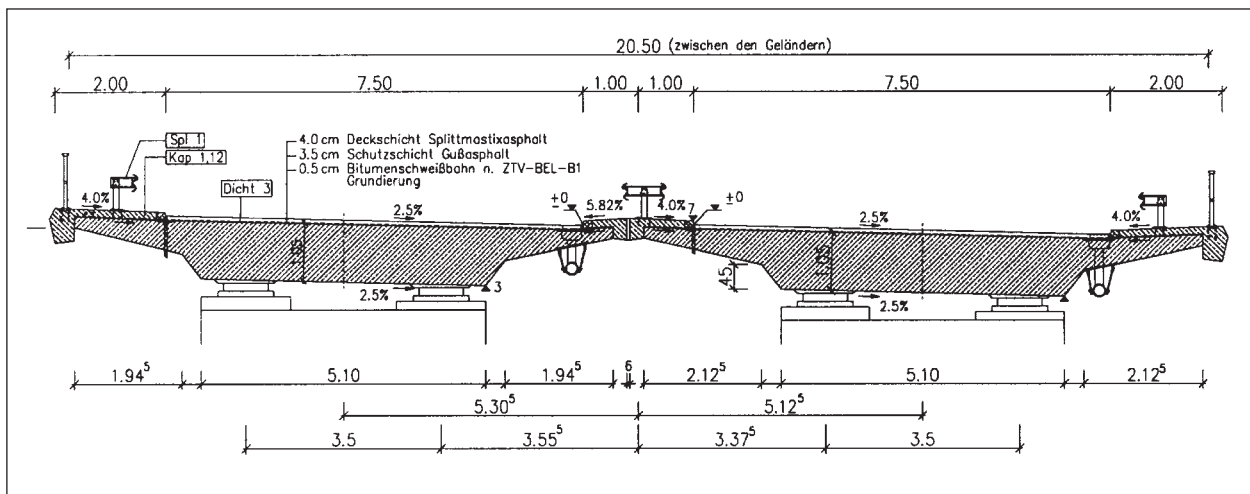


Bild 34: Regelquerschnitt des Überbaus der Muldebrücke Glauchau

4.1 Durchführung der Probelastungen

In Anlehnung an die im Jahr 2002 durchgeführte Probelastung wurden fünf Laststellungen definiert, für die in 10 Messpunkten am nördlichen Überbau die jeweilige Durchbiegung mittels Feinnivellement bestimmt wurde. Das Höhennivellement wurde jeweils in Feldmitte und im Stützbe-
reich der Felder A-B, B-C und C-D durchgeführt (siehe Bild 36). Zur Bestimmung der Durchbiegungen wurden jeweils die Höhen im unbelasteten und belasteten Zustand gemessen. Die Differenz der Höhenmessungen der einzelnen Punkte ergab die Durchbiegung des jeweiligen Messpunktes.

Während der Überfahrt wurden die Durchbiegungen in den Messpunkten BP 5 und BP 6 gemäß Bild 36 gemessen. Die im Bild 35 wiedergegeben und bereits bei der Probelastung 2002 betrachteten Laststellungen wurden auch im Rahmen dieses Projekts bei der Probelastung 2010 durchgeführt.

Die Belastungszeit je Laststellung betrug ca. 12 Minuten. Während dieser Zeit wurden die Höhenmessungen an den einzelnen Messpunkten durchgeführt. Die Laststellungen 1 bis 5 wurden jeweils 3 mal aufgebracht, um etwaige Fehler zu kompensieren. Ausnahme bildete Laststellung 1 mit nur zweimaligem Aufbringen. Zwischen den einzelnen Laststellungen wurde der Überbau jeweils vollständig entlastet.

Die Überfahrt (Laststellung 6) erfolgte in definierten Schritten, wobei das Flussfeld (zwischen Achsen B und C) in 5-Meter-Schritten überfahren wurde.

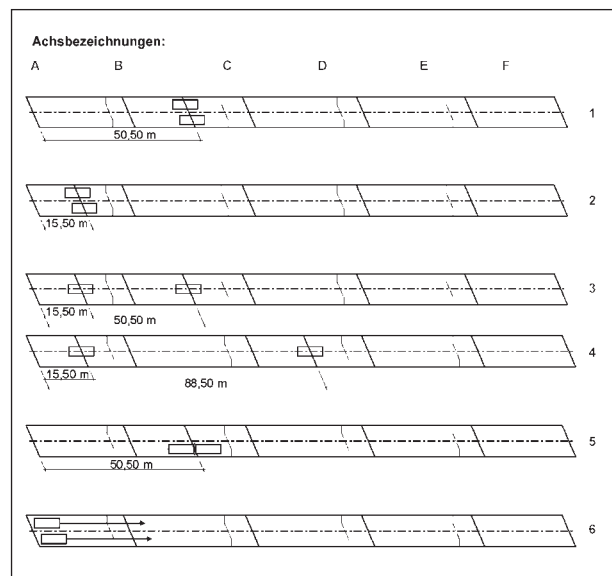


Bild 35: Laststellungen 1 bis 6

Die Belastung wurde mittels Lkw aufgebracht. Als Belastungs-Lkw kamen zwei mit Schotter voll beladene Muldenkipper mit einem Gesamtgewicht von ca. 34 t je Fahrzeug zum Einsatz (siehe Bild 37 und Anhang 3). Die Achslasten sind mittels Wägeeinrichtung vor Probelastungsbeginn ermittelt worden und entsprachen denen der im Jahr 2002 verwendeten Muldenkipper. Die Achsabstände der Muldenkipper waren geringfügig größer, sodass die Lasten auf einer um ca. 10 % größeren Fläche eingeleitet wurden.

Die Messung der Durchbiegungen erfolgte mittels Feinnivellement (siehe Bild 38), wobei die Messpunkte mittels in den Belag eingeschlagener Messbolzen gesichert wurden.

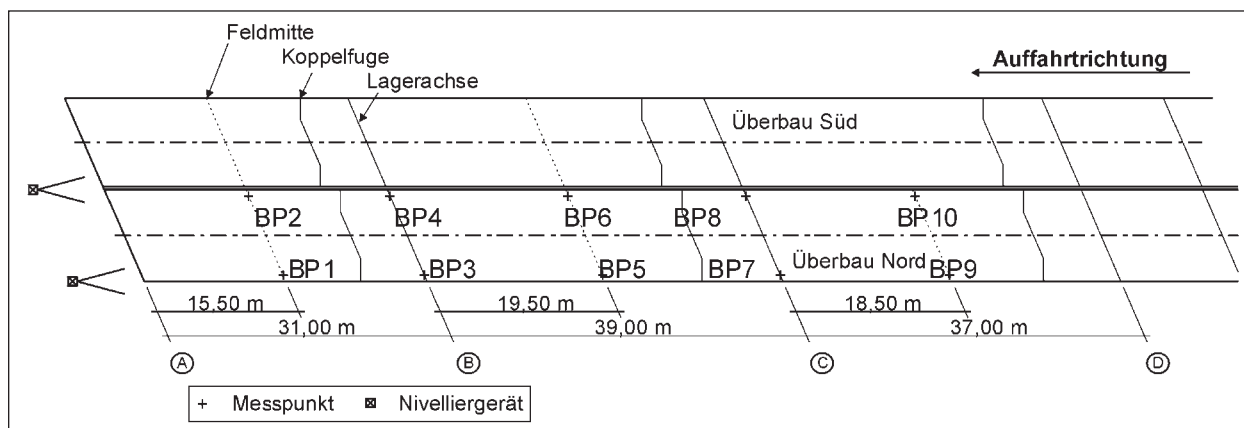


Bild 36: Messpunkte für das Feinnivellement



Bild 37: Belastungs-Lkws



Bild 38: Feinnivellement zur Bestimmung der Durchbiegungen

Im Vergleich zur Probelastung des Jahres 2002 ist zu beachten, dass damals weder Kappen noch Belag aufgebracht waren.

Das bedeutet, dass die jetzigen Belastungs-Lkw aufgrund der unterschiedlichen Kappengeometrien nicht mittig auf dem Überbau, sondern mittig in den Fahrstreifen aufgefahren sind. Damit ergibt sich tendenziell eine höhere Belastung der an der Überbauinnenseite gelegenen Messpunkte (BP 2, 4, 6, 8 und 10) im Rahmen der Probelastung 2010. Durch die Form des Querschnitts (Vollplatte) kann

die aus dieser Erhöhung resultierende Verformung im betrachteten Punkt als vernachlässigbar klein betrachtet werden.

4.2 Auswertung der Durchbiegungen

Die mittels Feinnivellement gemessenen Durchbiegungen wurden tabellarisch erfasst und sind im Anhang 4 ausführlich dokumentiert.

Die Tabelle 4 stellt alle gemessenen Durchbiegungen zusammen. Dabei kann festgestellt werden, dass die Durchbiegungen 2010 im Vergleich zu den im Jahr 2002 gemessenen Durchbiegungen etwas geringer ausgefallen sind, was in erster Linie auf die im Vergleich zum Jahr 2002 leicht vergrößerte Lasteintragungsfläche der Lkw (verursacht durch den vergrößerten Achsabstand) sowie das Vorhandensein der Brückenkappen zurückgeführt werden kann.

Dies deutet zum einen darauf hin, dass der unge-rissene Zustand des Bauwerks weiterhin vorhanden ist. Bei einem Übergang des Querschnittes in den Zustand II wären deutlich größere Durchbiegungen festzustellen. Zum anderen leistet die Kappe erwartungsgemäß einen geringen Beitrag zur Erhöhung der Steifigkeit des Bauwerks.

Die gemessenen Durchbiegungen werden im Folgenden mit den berechneten Durchbiegungen bzw. den aus der Berechnung ermittelten Biegelinien der einzelnen Laststellungen verglichen. Dabei erfolgte die Berechnung der Durchbiegungen bereits im Zuge der Erstellung der statischen Nachweise und der Probelastung im Jahr 2002 an einem Stabwerkmodell (siehe Bild 39) unter Berücksichtigung des tatsächlichen Elastizitätsmoduls des Betons,

	Lage des Messschnittes Bez. der Messpunkte	Feld A-B		Stütze B		Feld B-C		Stütze C		Feld C-D		
		BP1	BP2	BP3	BP4	BP5	BP6	BP7	BP8	BP9	BP10	
LS 1 - 2010	Mittelwert aller 2 Messungen	[mm]	-1,9	-2,5	0,2	-0,1	8,7	9,4	-0,1	0,2	-2,4	-2,2
	Mittel der gegenüberliegenden Messpunkte	[mm]	-2,2		0,1		9,0		0,1		-2,3	
LS 1 - 2002	Mittelwert aller 3 Messungen	[mm]	-2,8	-2,2	0,4	-0,3	9,5	9,6	0,2	0,5	-2,8	-3,9
	Mittel der gegenüberliegenden Messpunkte	[mm]	-2,5		0,1		9,6		0,3		-3,3	
LS 2 - 2010	Mittelwert aller 3 Messungen	[mm]	5,2	6,4	-0,4	0,2	-2,5	-3,5	-0,2	-0,5	0,0	0,1
	Mittel der gegenüberliegenden Messpunkte	[mm]	5,8		0,1		-3,0		-0,4		0,0	
LS 2 - 2002	Mittelwert aller 3 Messungen	[mm]	6,5	7,1	-0,3	0,2	-2,1	-3,6	-0,8	-1,0	-0,3	-1,5
	Mittel der gegenüberliegenden Messpunkte	[mm]	6,8		-0,1		-2,9		-0,9		-0,9	
LS 3 - 2010	Mittelwert aller 3 Messungen	[mm]	0,6	1,6	-1,2*	-1,2*	2,7	2,8	-0,4*	-0,2*	-0,3	-1,1
	Mittel der gegenüberliegenden Messpunkte	[mm]	1,1		-1,2*		2,8		-0,3*		-0,7	
LS 3 - 2002	Mittelwert aller 3 Messungen	[mm]	1,8	2,3	0,3	-0,5	3,9	2,7	0,6	-0,8	-1,1	-2,3
	Mittel der gegenüberliegenden Messpunkte	[mm]	2,0		-0,1		3,3		-0,1		-1,7	
LS 4 - 2010	Mittelwert aller 3 Messungen	[mm]	2,8	3,3	-0,8*	-0,5*	-2,2	-2,3	-1,4*	-1,3*	2,3	3,2
	Mittel der gegenüberliegenden Messpunkte	[mm]	3,1		-0,65*		-2,3		-1,35*		2,7	
LS 4 - 2002	Mittelwert aller 3 Messungen	[mm]	3,5	4,0	-0,1	0,0	-2,1	-3,1	0,1	-1,1	4,5	4,0
	Mittel der gegenüberliegenden Messpunkte	[mm]	3,7		-0,1		-2,6		-0,5		4,3	
LS 5 - 2010	Mittelwert aller 3 Messungen	[mm]	-2,1	-1,9	0,4*	-0,2*	8,3	6,9	0*	0,2*	-2,9	-2,5
	Mittel der gegenüberliegenden Messpunkte	[mm]	-2,0		0,1*		7,6		0,1*		-2,7	
LS 5 - 2002	Mittelwert aller 3 Messungen	[mm]	-2,3	-1,8	0,9	-0,6	10,0	7,4	0,2	-0,3	-2,4	-4,0
	Mittel der gegenüberliegenden Messpunkte	[mm]	-2,0		0,2		8,7		-0,1		-3,2	

Tab. 4 : Zusammenstellung der gemessenen Durchbiegungen 2010 im Vergleich zur Messung 2002

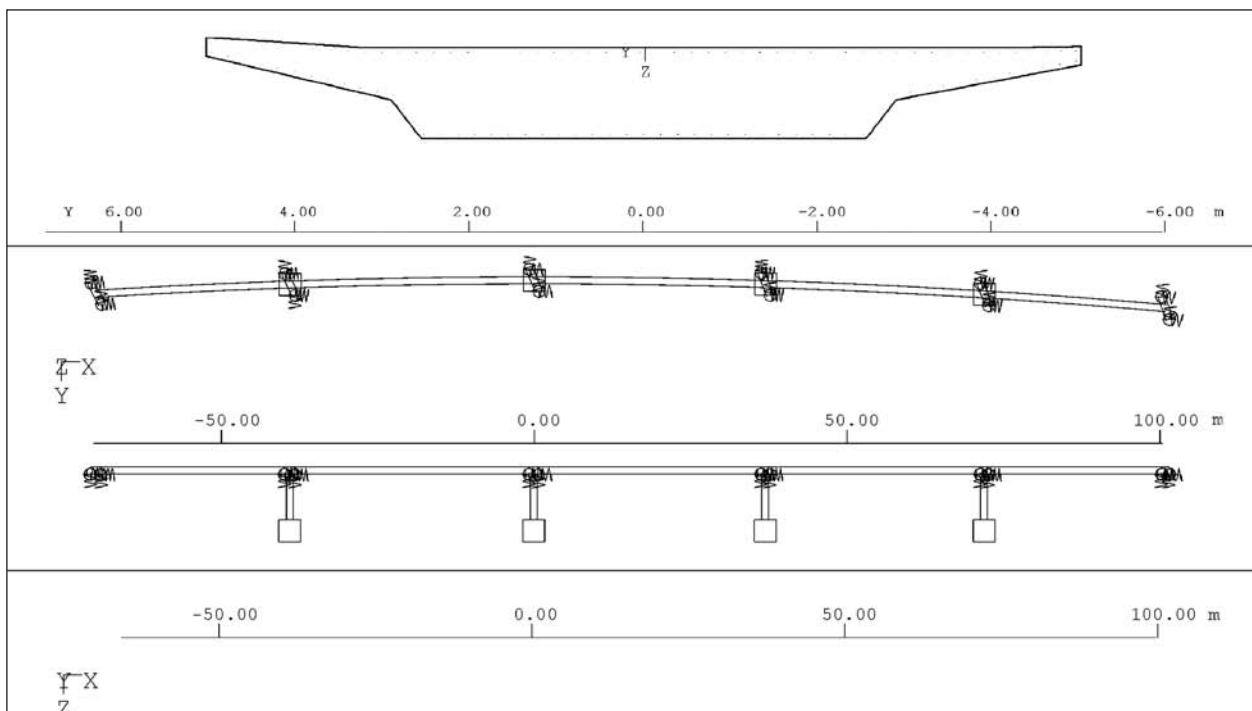


Bild 39: Querschnitt, Grundriss und Ansicht des Tragwerksmodells

der mit ca. 52.000 MN/m² etwa 10 % über dem in der Eignungsprüfung ermittelten Wert ($E = 47.000 \text{ MN/m}^2$) lag. Die Erfassung der Nachgiebigkeit der Lagerung erfolgte dabei durch entsprechende Federsteifigkeiten der Lagerungspunkte in x-, y- und z-Richtung. Der Elastizitätsmodul des Bauwerksbetons wurde im Jahr 2002 anhand lokaler Dehnungsmessungen im Betonquerschnitt im Rahmen der Probelastungen verifiziert [1].

Laststellungen 1 bis 5

Für die einzelnen Laststellungen ergaben sich in der Wiederholung der Probelastung im Jahr 2010 die in den Bildern 40 bis 44 anhand der Dreiecke dargestellten Durchbiegungen in den einzelnen Messpunkten. Der Vergleich zwischen den im Zuge der Probelastung 2002 berechneten und 2010 gemessenen Durchbiegungen zeigt eine unverändert gute Übereinstimmung in der Qualität, d. h. im Verlauf, und der Größenordnung der Werte. Die im Zuge der Probelastung 2002 errechneten

Biegelinien in den Bildern 40 bis 44 konnten mit den Messungen im Rahmen dieses Projekts erneut bestätigt werden. Es zeigt sich in allen Laststellungen, dass die Durchbiegungen tendenziell geringer sind als die im Jahr 2002 vor Verkehrsfreigabe gemessenen

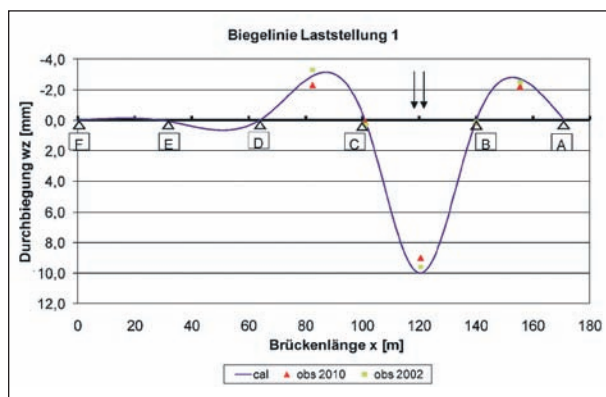


Bild 40: Vergleich gemessener und berechneter Durchbiegungen, Laststellung 1

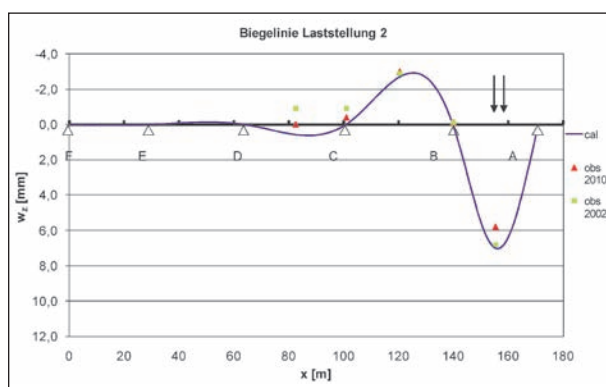


Bild 41: Vergleich gemessener und berechneter Durchbiegungen, Laststellung 2

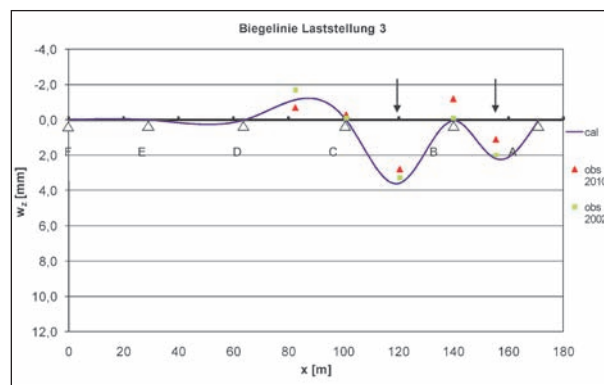


Bild 42: Vergleich gemessener und berechneter Durchbiegungen, Laststellung 3

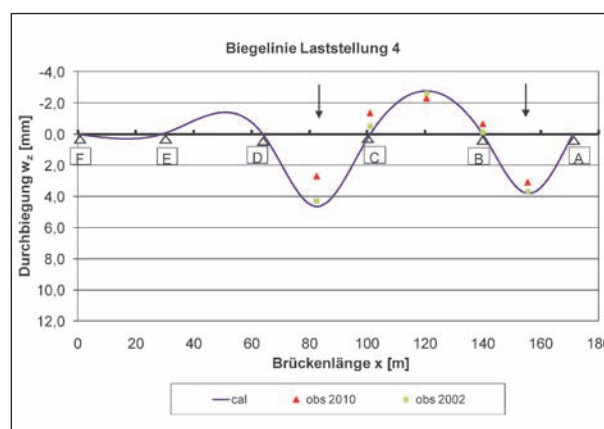


Bild 43: Vergleich gemessener und berechneter Durchbiegungen, Laststellung 4

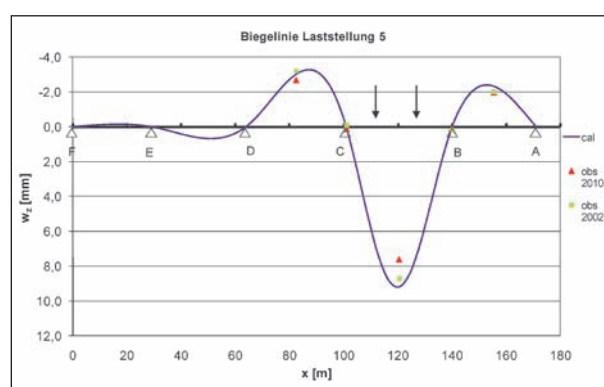


Bild 44: Vergleich gemessener und berechneter Durchbiegungen, Laststellung 5

Laststellung 6 (Überfahrt)

Während der Überfahrt wurden die Durchbiegungen in den Messpunkten BP 5 und BP 6 gemessen. Im Rahmen der Überfahrt wurden die in Tabelle 5 wiedergegebenen definierten Laststellungen angefahren.

In jeder Laststellung verblieben die Lkw für ca. 3 Minuten, um das Einstellen der jeweiligen Durchbiegung abzuwarten. Die Ergebnisse sind in Bild

Achse	Abstand ab Achse A [m]
A	7,75
	15,5
	23,3
B	31
	35
	40
	45
	50
	55
	60
C	65
	70
	79,25
	88,5
D	97,8
	107
E	125
	142
	157

Tab. 5: Laststellungen der Überfahrt

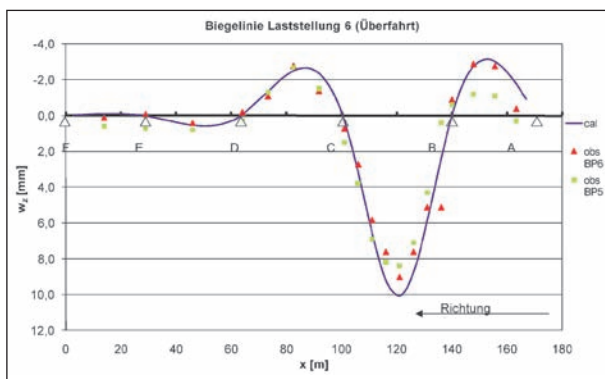


Bild 45: Vergleich gemessener und berechneter Durchbiegungen, Überfahrt 2010

45 dargestellt. Die im Rahmen dieses Projekts gemessenen Durchbiegungen sind mit Dreiecken dargestellt. Die 2002 berechneten Werte sind als geschlossenen Linie und die Messwerte zugehörigen Messwerte mit Quadraten dargestellt.

Auch für die Überfahrt lässt sich feststellen, dass die Durchbiegungen des Messpunktes BP 6 genau der für diesen Punkt ermittelten Biegelinie folgen. Messpunkt BP 5 zeigt etwas geringere Durchbiegungen, da die Last mittiger in den Überbau eingeleitet wird. Insgesamt lässt sich feststellen, dass der Überbau auch nach 10 Jahren Verkehrsnutzung die gleiche Steifigkeit besitzt wie bei Übergabe des Bauwerks. Es liegen keinerlei Hinweise auf eine Einschränkung der Gebrauchstauglichkeit oder der Tragfähigkeit durch eine Rissbildung bzw. einen Übergang des Querschnitts in den Zustand II vor.

5 Zusammenfassung

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die untersuchten Überbauten aus hochfestem Beton bzw. selbstverdichtendem hochfesten Beton in gutem Zustand vorgefunden wurden. Abwitterungen oder andere Auffälligkeiten, welche die Dauerhaftigkeit einschränken, konnten nicht festgestellt werden.

Die gemessenen Chloridgehalte an der Oberfläche der Pfeiler liegen erwartungsgemäß hoch, bauen sich jedoch bereit nach 10 mm sehr deutlich ab, sodass dauerhaft keine Gefahr für die Bewehrung besteht. Deutlich wurde der Unterschied in der Chlorideindringung zwischen dem Pfeiler aus B 35 und B 85 der Brücke Freihamer Allee in München. Die Karbonatisierung spielt erwartungsgemäß bei den hochfesten Betonen keine Rolle. Im Vergleich mit dem normalfesten Beton weist der hochfeste Beton deutlich geringere Karbonatisierungstiefen (als Maximum bei sonst gleichen Randbedingungen) auf. Die im Labor festgestellten besseren Dauerhaftigkeitseigenschaften [3] von hochfestem Beton im Vergleich zum normalfesten Beton können somit im Bauwerk bestätigt werden.

Die Ergebnisse der Probelastung belegen, dass sich der vorgespannte Überbau der Muldebrücke Glauchau weiterhin im ungerissenen Zustand befindet und die bereits bei der im Jahr 2002 im Rahmen der erstmalig durchgeführten Probelastung

festgestellte hohe Steifigkeit somit unvermindert ist.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass sich der hochfeste Beton bei allen untersuchten Brückenbauwerken bewährt hat.

6 Literatur

- [1] KÖNIG, G., MAURER, R., ARNOLD, A.: „Auswertung der Langzeitmessungen und der Probelastungen an der Brücke über die Zwickauer Mulde in Hochleistungsbeton B 85“, Leipzig, 05.08.2002
- [2] ZILCH, K., et al.: Anwendung von hochfestem Beton im Brückenbau. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 522
- [3] GUSE, U., HILSDORF, H.: Dauerhaftigkeit hochfester Betone. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 487

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Brücken- und Ingenieurbau“

2001

- B 28: Erfassung und Bewertung von reaktionsharzgebundenen Dünnbelägen auf Stahl
Eilers € 11,00
- B 29: Ergänzende Untersuchungen zur Bestimmung der Karbonatisierungstiefe und des Chloridgehaltes von Beton
Gatz, Quaas € 12,00
- B 30: Materialkonzepte, Herstellungs- und Prüfverfahren für elutionsarme Spritzbetone
Heimbecher € 11,00
- B 31: Verträglichkeit von reaktionsharzgebundenen Dünnbelägen mit Abdichtungssystemen nach den ZTV-BEL-ST
Eilers, Stoll € 10,50
- B 32: Das Programm ISOCORRAG: Ermittlung von Korrosivitätskategorien aus Massenverlusten
Schröder € 11,50
- B 33: Bewährung von Belägen auf Stahlbrücken mit orthotropen Fahrbahnplatten
Eilers, Sczyslo € 17,00
- B 34: Neue reaktionsharzgebundene Dünnbeläge als Fahrbahnbeläge auf einem D-Brücken-Gerät
Eilers, Ritter € 13,00

2002

- B 35: Bewährung von Brückenbelägen auf Betonbauwerken
Wruck € 11,50
- B 36: Fahrbahnübergänge aus Asphalt
Wruck € 11,00
- B 37: Messung der Hydrophobierungsqualität
Hörner, von Witzhausen, Gatz € 11,00
- B 38: Materialtechnische Untersuchungen beim Abbruch der Talbrücke Haiger
Krause, Wiggenhauser, Krieger € 17,00
- B 39: Bewegungen von Randfugen auf Brücken
Eilers, Wruck, Quaas € 13,00

2003

- B 40: Schutzmaßnahmen gegen Graffiti von Wespennest
€ 11,50
- B 41: Temperaturmessung an der Unterseite orthotroper Fahrbahnplatten beim Einbau der Gussasphalt-Schutzschicht
Eilers, Kühler, Quaas € 12,50
- B 42: Anwendung des Teilsicherheitskonzeptes im Tunnelbau
Städig, Krocker € 12,00
- B 43: Entwicklung eines Bauwerks Management-Systems für das deutsche Fernstraßennetz – Stufen 1 und 2
Haardt € 13,50
- B 44: Untersuchungen an Fahrbahnübergängen zur Lärminderung
Hemmert-Halswick, Ullrich € 12,50

2004

- B 45: Erfahrungssammlungen:
Stahlbrücken – Schäden – wetterfeste Stähle Seile
Teil 1: Dokumentation über Schäden an Stahlbrücken

Teil 2: Dokumentation und Erfahrungssammlung mit Brücken aus wetterfesten Stählen

Teil 3: Erfahrungssammlung über die Dauerhaftigkeit von Brückenseilen und -kabeln
Hemmert-Halswick € 13,00

B 46: Einsatzbereiche endgültiger Spritzbetonkonstruktionen im Tunnelbau
Heimbecher, Decker, Faust € 12,50

2005

B 47: Gussasphaltbeläge auf Stahlbrücken
Steinauer, Scharnigg € 13,50

2006

- B 48: Scannende Verfahren der zerstörungsfreien Prüfung von Brückenbauwerken
Holst, Streicher, Gardei, Kohl, Wöstmann, Wiggenhauser € 15,00
- B 49: Einfluss der Betonoberflächenvorbereitung auf die Haftung von Epoxidharz
Raupach, Rößler € 13,50
- B 50: Entwicklung eines Bauwerks-Management-Systems für das deutsche Fernstraßennetz, Stufe 3
Holst € 13,50
- B 51: Hydrophobierungsqualität von flüssigen und pastösen Hydrophobierungsmitteln
Panzer, Hörner, Kropf € 12,50
- B 52: Brückenseile mit Galfan-Überzug – Untersuchung der Haftfestigkeit von Grundbeschichtungen
Friedrich, Staack € 14,50
- B 53: Verwendung von selbstverdichtendem Beton (SVB) im Brücken- und Ingenieurbau an Bundesfernstraßen
Tauscher € 14,50
- B 54: Nachweis des Erfolges von Injektionsmaßnahmen zur Mängelbeseitigung bei Minderdicken von Tunnelinnenschalen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Rath, Berthold, Lähler € 12,50

2007

- B 55: Überprüfung des Georadarverfahrens in Kombination mit magnetischen Verfahren zur Zustandsbewertung von Brückenfahrbahnplatten aus Beton mit Belagsaufbau
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Krause, Rath, Sawade, Dumat € 14,50
- B 56: Entwicklung eines Prüfverfahrens für Beton in der Expositionsklasse XF2
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Setzer, Keck, Palecki, Schießl, Brandes € 19,50
- B 57: Brandversuche in Straßentunneln – Vereinheitlichung der Durchführung und Auswertung
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Steinauer, Mayer, Kündig € 26,50
- B 58: Quantitative Risikoanalysen für Straßentunnel
Sistenich € 14,50

2008

- B 59: Bandverzinkte Schutzplankenholme
Schröder € 12,50
- B 60: Instandhaltung des Korrosionsschutzes durch Teilerneuerung - Bewährung
Schröder € 13,50

- B 61: **Untersuchung von Korrosion an Fußplatten von Schutzplankenpfosten**
Schröder, Staeck € 13,00
- B 62: **Bewährungsnachweis von Fugenfüllungen ohne Unterfüllstoff**
Eilers € 12,00
- B 63: **Selbstverdichtender Beton (SVB) im Straßentunnelbau**
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Heunisch, Hoepfner, Pierson (†), Dehn, Orgass, Sint € 17,50
- B 64: **Tiefenabhängige Feuchte- und Temperaturmessung an einer Brückenkappe der Expositionsklasse XF4**
Brameshuber, Spörel, Warkus € 12,50

2009

- B 65: **Zerstörungsfreie Untersuchungen am Brückenbauwerk A1 Hagen/Schwerte**
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Frieze, Taffe, Wöstmann, Zoega € 14,50
- B 66: **Bewertung der Sicherheit von Straßentunneln**
Zulauf, Locher, Steinauer, Mayer, Zimmermann, Baltzer, Riepe, Kündig € 14,00
- B 67: **Brandkurven für den baulichen Brandschutz von Straßentunneln**
Blosfeld € 17,50
- B 68: **Auswirkungen des Schwerlastverkehrs auf die Brücken der Bundesfernstraßen – Teile 1-4**
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Kaschner, Buschmeyer, Schnellenbach-Held, Lubasch, Grünberg, Hansen, Liebig, Geißler € 29,50
- B 69: **Berücksichtigung der Belange behinderter Personen bei Ausstattung und Betrieb von Straßentunneln**
Wagener, Grossmann, Hintzke, Sieger € 18,50
- B 70: **Frost-Tausalz-Widerstand von Beton in Brücken und Ingenieurbauwerken an Bundesfernstraßen**
Tauscher € 14,50

2010

- B 71: **Empfehlungen für geschweißte KK-Knoten im Straßenbrückenbau**
Kuhlmann, Euler € 22,50
- B 72: **Untersuchungen zur Dauerhaftigkeit von permanenten Anti-Graffiti-Systemen**
Weschpfennig, Kropf, von Witzhausen € 13,50
- B 73: **Brand- und Abplatzverhalten von Faserbeton in Straßentunneln**
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Dehn, Nause, Juknat, Orgass, König € 21,00
- B 74: **Verwendung von Anti-Graffiti-Systemen auf Mauerwerk**
Müller € 14,00
- B 75: **Sachstand Verstärkungsverfahren – Verstärken von Betonbrücken im Bestand**
Schnellenbach-Held, Peeters, Scherbaum € 13,50

2011

- B 76: **Instandsetzung und Verstärkung von Stahlbrücken unter Berücksichtigung des Belagssystems**
Sedlacek, Paschen, Feldmann, Geßler, Möller, Steinauer, Scharnigg € 17,00
- B 77: **Anpassung von DIN-Fachberichten "Brücken" an Euro-codes**
Teil 1: DIN-FB 101 "Einwirkung auf Brücken"
Teil 2: DIN-FB 102 "Betonbrücken"
Teil 3: DIN-FB 103 "Stahlbrücken"

Teil 4: DIN-FB 104 "Verbundbrücken"

- Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Freundt, Böning, Maurer, Arnold, Gedwien, Müller, Schrick, Tappe, Kuhlmann, Rasche, Froschmeier, Euler, Hanswille, Brauer, Bergmann € 29,50
- B 78: **Bemessung von Wellstahlbauwerken – Vergleich nach den bisherigen und den neuen Richtlinien**
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Kuhlmann, Günther, Krauss € 18,50
- B 79: **Untersuchungen zur Querkraftbemessung von Spannbe-tonbalken mit girlandenförmiger Spanngliedführung**
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Maurer, Kiziltan, Zilch, Dunkelberg, Fitik (in Vorbereitung)
- B 80: **Lautsprecheranlagen und akustische Signalisierung in Straßentunneln**
Mayer, Reimann, Löwer, Brettschneider, Los € 16,00
- B 81: **Quantifizierung der Lebensdauer von Betonbrücken mit den Methoden der Systemanalyse**
Müller, Vogel, Neumann € 14,50
- B 82: **Verkehrslastmodelle für die Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand**
Freundt, Böning € 16,00
- B 83: **Konzeption zur Nachrechnung bestehender Straßenbrücken**
Maurer, Kolodziejczyk, Zilch, Dunkelberg € 16,00
- B 84: **Prüfung des Frost-Tausalz-Widerstandes von Beton mit dem modifizierten CDF-Verfahren (XF2)**
Gehlen, Lowke, Milachowski € 15,00
- B 85: **Entwicklung von Verfahren einer zuverlässigkeitsbasierten Bauwerksprüfung**
Zilch, Straub, Dier, Fischer € 19,50
- B 86: **Untersuchungen an Bauwerken aus hochfesten Beton**
Viet Tue, Freitag € 13,50

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10
D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.