

Jens Tandler

Untersuchungen zur externen Vorspannung an Hohlkastenbrücken

Diplomarbeit

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de/> abrufbar.

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsschutz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlanges. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Auswertungen durch Datenbanken und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

Copyright © 1999 Diplom.de
ISBN: 9783832416409

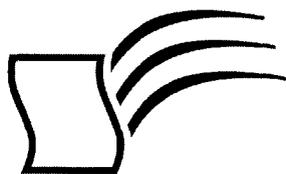
Jens Tandler

Untersuchungen zur externen Vorspannung an Hohlkastenbrücken

Jens Tandler

Untersuchungen zur externen Vorspannung an Hohlkastenbrücken

Diplomarbeit
an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH)
Juni 1999 Abgabe



Diplomarbeiten Agentur
Dipl. Kfm. Dipl. Hdl. Björn Bedey
Dipl. Wi.-Ing. Martin Haschke
und Guido Meyer GbR

Hermannstal 119 k
22119 Hamburg

agentur@diplom.de
www.diplom.de

ID 1640

Tandler, Jens: Untersuchungen zur externen Vorspannung an Hohlkastenbrücken /

Jens Tandler - Hamburg: Diplomarbeiten Agentur, 1999

Zugl.: Dresden, Fachhochschule, Diplom, 1999

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtes.

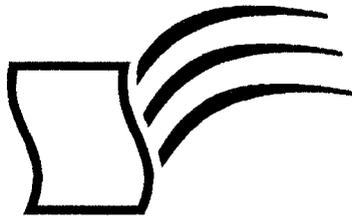
Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden, und die Diplomarbeiten Agentur, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Dipl. Kfm. Dipl. Hdl. Björn Bedey, Dipl. Wi.-Ing. Martin Haschke & Guido Meyer GbR

Diplomarbeiten Agentur, <http://www.diplom.de>, Hamburg

Printed in Germany



Diplomarbeiten Agentur

Wissensquellen gewinnbringend nutzen

Qualität, Praxisrelevanz und Aktualität zeichnen unsere Studien aus. Wir bieten Ihnen im Auftrag unserer Autorinnen und Autoren Wirtschaftsstudien und wissenschaftliche Abschlussarbeiten – Dissertationen, Diplomarbeiten, Magisterarbeiten, Staatsexamensarbeiten und Studienarbeiten zum Kauf. Sie wurden an deutschen Universitäten, Fachhochschulen, Akademien oder vergleichbaren Institutionen der Europäischen Union geschrieben. Der Notendurchschnitt liegt bei 1,5.

Wettbewerbsvorteile verschaffen – Vergleichen Sie den Preis unserer Studien mit den Honoraren externer Berater. Um dieses Wissen selbst zusammenzutragen, müssten Sie viel Zeit und Geld aufbringen.

<http://www.diplom.de> bietet Ihnen unser vollständiges Lieferprogramm mit mehreren tausend Studien im Internet. Neben dem Online-Katalog und der Online-Suchmaschine für Ihre Recherche steht Ihnen auch eine Online-Bestellfunktion zur Verfügung. Inhaltliche Zusammenfassungen und Inhaltsverzeichnisse zu jeder Studie sind im Internet einsehbar.

Individueller Service – Gerne senden wir Ihnen auch unseren Papierkatalog zu. Bitte fordern Sie Ihr individuelles Exemplar bei uns an. Für Fragen, Anregungen und individuelle Anfragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung. Wir freuen uns auf eine gute Zusammenarbeit

Ihr Team der *Diplomarbeiten Agentur*

Dipl. Kfm. Dipl. Hdl. Björn Bedey –
Dipl. Wi.-Ing. Martin Haschke —
und Guido Meyer GbR —————

Hermannstal 119 k —————
22119 Hamburg —————

Fon: 040 / 655 99 20 —————
Fax: 040 / 655 99 222 —————

agentur@diplom.de —————
www.diplom.de —————

Thesen zur Diplomarbeit

Thema: Untersuchungen zur externen Vorspannung an Hohlkastenbrücken

Bearbeiter: Jens Tandler

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. habil. M. Slavik

1. Mit Herausgabe des Allgemeinen Rundschreibens Straßenbau Nr. 28/1998 wird bei Spannbetonhohlkästen im Brückenbau die Bauweise mit externer Vorspannung zur Regelbauweise erklärt.
2. Mitte der 80er Jahre begann in Deutschland erneut die Planung von Brücken mit externer Vorspannung, da sich herausstellte, daß die Prüfung und Verstärkung von Spannbetonhohlkästen mit Spanngliedern im Verbund kompliziert ist.
3. Die erste Brücke mit externen Spanngliedern wurde 1934 von Dischinger geplant und gebaut.
4. Bei der neuen Regelbauweise wird zwischen Brücken mit ausschließlich externer Vorspannung und denen in Mischbauweise unterschieden.
5. Besonderer Entwicklungsbedarf besteht im Bereich der Verankerungs- und Umlenkpunkte für die externen Spannglieder.
6. Die zu bearbeitende Brücke in Mischbauweise wird mit im Feld zweifach umgelenkten externen Spanngliedern ausgerüstet.
7. Die Umlenkpunkte werden sehr voluminös ausgebildet, um das Problem der konzentrierten Lasteintragung zu minimieren.
8. Der vorliegende Überbau mit externen Spanngliedern erweist sich als sehr schlank. Nach geringfügigen Änderungen lassen sich die Nachweise in Längsrichtung erbringen. Die Schlankheit beträgt jetzt 15,6.
9. Durch Verstärkung der Fahrbahnplatte ist es möglich, den Querschnitt durchgängig, auch im Bereich der Umlenkpunkte, in Querrichtung schlaff zu bewehren.
10. Die FE-Berechnung bestätigt die Ergebnisse der Stabwerksberechnung in vollem Umfang.
11. Die externe Vorspannung erweist sich als deutlich uneffektiver als Vorspannung mit herkömmlichen, im Verbund liegenden Spanngliedern. Dies resultiert vor allem aus dem geringeren Hebelarm der inneren Kräfte. Unter diesen Gesichtspunkten bringt die neue Bauweise deutliche Kostennachteile beim Neubau mit sich. Auf längere Sicht besteht durch die Möglichkeit der Nachrüstung für den Auftraggeber ein Kostenvorteil.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|------------|
| Anhangsverzeichnis | V |
| Abbildungs- und Tabellenverzeichnis | VI |
| Abkürzungsverzeichnis | VII |
| 1 Problemstellung | 1 |
| 2 Allgemeines | 2 |
| 2.1 Zur Geschichte der Vorspannung, besonders der externen in Deutschland | 3 |
| 2.2 Richtlinie des Bundesministeriums für Verkehr Nr. 28/1998 | 4 |
| 2.2.1 Spannglieder in Längsrichtung | 5 |
| 2.2.2 Spannglieder in Querrichtung | 5 |
| 2.2.3 Verankerungen und Umlenkpunkte | 5 |
| 2.3 Vorspannsysteme | 6 |
| 3 Entwurf der Talbrücke | 8 |
| 3.1 Ergänzung des Entwurfes | 11 |
| 3.2 Bearbeitung des Entwurfes hinsichtlich der Spanngliedführung in Längs- und Querrichtung | 12 |
| 3.3 Wahl des Spannverfahrens | 13 |
| 3.4 Entwurf der Umlenkpunkte und Verankerungen | 15 |
| 4 Statische Vorbemessung als Stabwerksmodell | 20 |
| 4.1 Ausgangswerte | 20 |
| 4.1.1 Statisches System und Abmessungen | 20 |
| 4.1.2 Baustoffe | 20 |
| 4.1.3 Querschnittskennwerte | 21 |
| 4.2 Berechnung in Längsrichtung | 21 |
| 4.2.1 Einwirkungen | 21 |
| 4.2.2 Berechnung der Schnittgrößen | 23 |
| 4.2.3 Bemessung Variante 1 | 23 |
| 4.2.4 Bemessung Variante 2 | 25 |
| 4.3 Berechnung in Querrichtung | 27 |
| 4.3.1 Einwirkungen | 28 |
| 4.3.2 Schnittgrößen | 28 |
| 4.3.3 Bemessung | 29 |

| | |
|---|-----------|
| 5 Statische Untersuchung als räumliches Tragwerk mittels der FE- | |
| Methode | 30 |
| 5.1 Vorstellung des Programmsystems MARC® | 30 |
| 5.2 Modellbildung | 30 |
| 5.3 Belastung | 34 |
| 5.4 Berechnung | 34 |
| 5.5 Ergebnisse | 35 |
| 6 Auswertung | 37 |
| 6.1 Vergleich der klassischen Berechnung und des FE-Berechnung | 37 |
| 6.2 Weitere interessante Punkte des Tragwerks | 37 |
| 6.3 Allgemeine Aussagen | 38 |
| Literaturverzeichnis | 39 |
| Normen | 42 |
| Eidesstattliche Versicherung | 43 |

Anhangsverzeichnis

| | |
|---|-----|
| Anhang I: Berechnung in Längsrichtung | 44 |
| Anhang II: Vergleichsrechnung zur Strothetalbrücke | 73 |
| Anhang III: Berechnung in Längsrichtung Variante 2 | 78 |
| Anhang IV: Berechnung in Querrichtung | 95 |
| Anhang V: Ergebnisse der FE-Berechnung | 124 |
| Anhang VI: Konstruktion der Spannglieder im Längsschnitt | 144 |
| CD: FE-Modell mit Ergebnisdateien der berechneten Lastfälle | |

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung Deckblatt: Montage aus FE-Querschnitt und Abbildung 10 | |
| Abbildung 1: Südsicht der Autobahnbrücke | 1 |
| Abbildung 2: Bahnhofsbrücke Dischinger Aue 1934. | 4 |
| Abbildung 3: Prinzipien der Vorspannsysteme | 6 |
| Abbildung 4: Südsicht und Feldquerschnitt | 9 |
| Abbildung 5: Schnitte 1-1 bis 4-4 | 10 |
| Abbildung 6: Abschnittseinteilung | 11 |
| Abbildung 7: Lagerschema auf Untersicht der Brücke | 11 |
| Abbildung 8: Kopie des Deckblattes der Zulassung der VT-CMM D Spannglieder für externe Spanngliedführung | 14 |
| Abbildung 9: Grundriß und Längsschnitt Berbketal- Brücke | 15 |
| Abbildung 10: Umlenkungen in der Strothetalbrücke | 16 |
| Abbildung 11: Betonfertigteilumlenkung Stützbereich der Strothetalbrücke | 16 |
| Abbildung 12: Prinzip der Umlenkung | 17 |
| Abbildung 13: Abmessungen der Spanngliedumlenkung im Feld | 18 |
| Abbildung 14: Stützumlenkrahmen mit Verankerungsöffnungen und Umlenksätteln | 18 |
| Abbildung 15: Darstellung der Führung der Spannglieder | 19 |
| Abbildung 16: Statisches System | 20 |
| Abbildung 17: Vorbauschnabel | 22 |
| Abbildung 18: Idealisierter Querschnitt zur Berechnung in Querrichtung | 27 |
| Abbildung 19: Die kritischen Lastfälle mit maßgebenden Punkten | 27 |
| Abbildung 20: Wireframe CAD | 30 |
| Abbildung 21: v.l. Hexaeder, Punkte der achtpunkt Gaußintegration, Punkte der vierpunkt Gaußintegration | 31 |
| Abbildung 22: Querschnitt mit Umlenkpunkten | 32 |
| Abbildung 23: links: Feiner diskretisierte Umlenkbereiche (ohne Fahrbahnplatte), rechts: Vouten an Bodenplatte und Steg | 32 |
| Abbildung 24: Gesamtansicht mit ca. 7000 Elementen und einer Länge 82,80m | 32 |
| Abbildung 25: Innenansicht | 33 |
| Abbildung 26: Detaildarstellung der Elemente im Umlenkbereich mit Verknüpfung zu Umlenkrahmen als Wireframe | 33 |
| Tabelle 1: Vergleich einzelner Spannungswerte | 36 |

Abkürzungsverzeichnis

| | | |
|-----------|---|--------------------------------------|
| β_s | = | Streckgrenze |
| β_z | = | Zugfestigkeit |
| ARS | = | Allgemeines Rundschreiben Straßenbau |
| BMV | = | Bundesministerium für Verkehr |
| DIfB | = | Deutsches Institut für Bautechnik |
| erf. | = | erforderlich |
| g | = | Eigengewicht |
| k | = | Kriechen |
| LF | = | Lastfall |
| LK | = | Lastfallkombination |
| LSW | = | Lärmschutzwand |
| max. | = | maximal |
| mini. | = | minimal |
| p | = | Verkehrslast |
| Riz | = | Richtzeichnung |
| s | = | Schwinden |
| S. | = | Seite |
| s. | = | siehe |
| vgl. | = | vergleiche |
| vorh. | = | vorhanden |
| w | = | Wind |
| zugeh. | = | zugehörig |
| zul. | = | zulässig |

Indizes (beispielhaft):

| | | |
|---------------|---|---------------------------------------|
| σ_{x0} | = | Normalspannung oben (sinngemäß unten) |
| N_{ex} | = | Normalkraft externe Spannglieder |
| N_{in} | = | Normalkraft interne Spannglieder |

2 Allgemeines

Mitte der 80er Jahre begann in Deutschland die Planung von Brücken mit externer Vorspannung. Die Gründe waren Probleme bei der Ausführung und Instandsetzung von Spannbetonbrücken und außerdem die Erkenntnis, daß eine durchgängige Prüfung der im Betonquerschnitt liegenden Spannglieder nicht oder nur mit sehr hohem Aufwand möglich und ein Austausch überhaupt nicht möglich ist. (vgl. /2/, S. 264).

Man spricht von externer Vorspannung, wenn Spannglieder mit Umlenkungen außerhalb des Bauteils geführt werden, jedoch insgesamt innerhalb des Querschnitts liegen (vgl. /3/, S. 744). Die Vorteile durch die neue Bauweise, von denen die erstgenannten am schwersten wiegen, sind folgende:

- Die Kontrollierbarkeit, Nachspannbarkeit und Austauschbarkeit der Kabel und damit die Möglichkeit, die Spannkabel umzuhängen, was besonders für das Taktschieben interessant ist.
- Spannstahl ist dauerhaft vor Korrosion geschützt, vor allem weil er unabhängig vom Rißverhalten des Betons ist.
- Vermeidung von Betonierschäden in Stegen ohne Spannglieder.
- Sinnvolle Anwendung in der Segmentbauweise, da die Spannglieder nicht die Fuge queren.

Als Nachteile sind zu nennen:

- Der im Moment noch um 10% höhere Überbaupreis durch die teureren Spannkabel sowie den Mehrbedarf an Betonstahl, weil der Spannstahl nicht mehr mit zur Rißsicherung herangezogen werden kann.
- Da die Stahlspannung ausgehend von der zulässigen Initialspannung nur noch ca. 10% bis zum Versagen zunimmt, ist ein höherer Bewehrungsanteil notwendig, was auch durch die höhere Initialspannung von $0,7 \cdot \beta_z$ ($0,55 \cdot \beta_z$ bei konventioneller Vorspannung) nicht vollständig wettgemacht wird.
- Der Hebelarm der inneren Kräfte ist kleiner.
- Probleme der direkten Gefährdung durch äußere Angriffe: Brand, Terrorismus bzw. Vandalismus, welches ein Grund war die neue Bauweise nur in geschlossenen Hohlkästen und nicht z.B. bei Plattenbalken außerhalb des schützenden Querschnitts vorzuschreiben.

Die neue Art der Spanngliedführung kann außerdem zur Rekonstruktion bestehender Spannbetonbrücken eingesetzt werden. In Österreich existieren z.B. solche Tragwerksverstärkungen: Verstärkung der Agerbrücke durch M. Wicke u.a.

Einige Nachteile der externen Vorspannung lassen sich durch eine weitere Neuentwicklung, die Anwendung der internen verbundlosen Vorspannung, beseitigen. Ein entscheidender Vorteil ist die geschützte Lage des Spanngliedes innerhalb des Bauteils. Der Hebelarm der inneren Kräfte kann in selber Größe ausgenutzt werden wie bei konventioneller Vorspannung. Die Auswechslung der Spannglieder in Form von Monolitzen ist problemlos möglich, wie Versuche beweisen (vgl. /4/, S.772). Die optische Überprüfbarkeit der Spannglieder externer Vorspannung ist auch mehr theoretischer Natur, da die kritischen Punkte an den Umlenkpunkten nicht zugänglich sind. Die Verankerung der internen verbundlosen Spannglieder kann über herkömmliche Lisenen erfolgen. Der dauerhafte Korrosionsschutz läßt sich über Kunststoffhüllrohre erreichen, so daß Risse nicht mehr bis in den Bereich des Spanngliedes vordringen können. Bei Hohlkästen besteht ein großer Nachteil darin, das sich solch ein Spannglied nicht kontinuierlich entsprechend der Momentenlinie aus äußeren Lasten führen läßt, da Spannglieder nicht mehr im Steg untergebracht werden sollen. Aus Sicht des Verfassers stellt diese Art der Vorspannung jedoch eine sinnvolle Weiterentwicklung gegenüber der externen verbundlosen Vorspannung dar.

2.1 Zur Geschichte der Vorspannung, besonders der externen in Deutschland

Die Idee, mit Hilfe externer Spannglieder Baumaterialien tragfähiger zu machen, geht bereits bis ins Altertum zurück. Das Beispiel des aufgeschrumpften Eisenringes auf ein Holzrad zeigt, das dies nicht nur auf Bauteile beschränkt war (vgl. /5/).

Die Entdeckung der heute üblichen Vorspannungsarten fand etwa zu gleichen Zeit statt: Mit sofortigem Verbund (Freyssinet 1928, Hoyer 1938), ohne Verbund (Dischinger 1934), mit nachträglichem Verbund (Freyssinet 1939/40). In Deutschland wurde jedoch mit Ausnahme einiger weniger, aber bedeutender Bauwerke, wie die Bahnhofsbrücke in Aue/Saale (1934), die Vorspannung mit Verbund angewandt.

Die schnelle Verbreitung der heute konventionellen Vorspannung nach dem Krieg war vor allem durch das unterschiedliche Materialverhalten begründet. Bei Vorspannung im Verbund können vom gerissenen Zustand zum Bruchzustand örtlich hohe Dehnungen bzw. Zugspannungen entstehen.

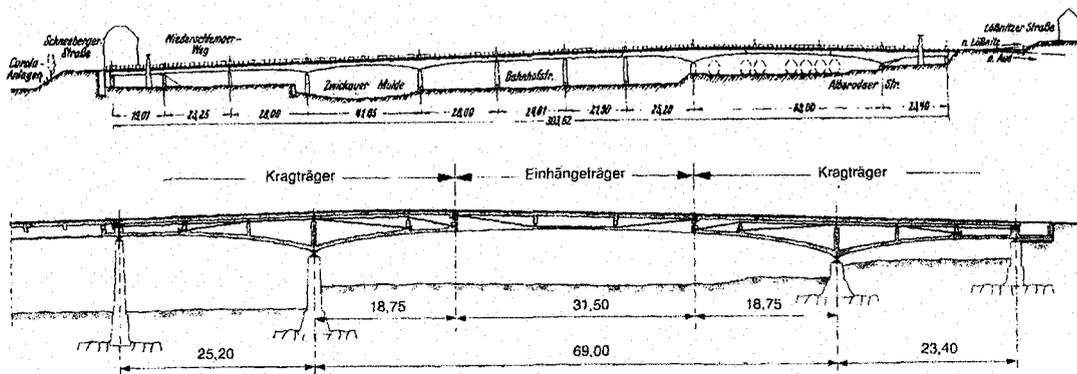


Abbildung 2: Bahnbrücke Dischinger Aue 1934, s.19/

Beim verbundlosen Spannstahl bleibt die Dehnung über die ganze Länge gleich, sie entspricht dem Mittelwert der Betondehnung entlang der Spannstahlachse. Die maximale Dehnung ist also vergleichsweise gering, auch an Stellen maximaler Beanspruchungen. Dieses Defizit an nutzbarem Spannungszuwachs fällt besonders ins Gewicht, wenn die zulässige Initialvorspannung wie nach dem Krieg einheitlich mit $0,55 \cdot \beta_z$ bzw. $0,75 \cdot \beta_s$ festgelegt ist. Aufgrund der dominanten Materialkosten zu dieser Zeit, wurde die Vorspannung im Verbund zur Vorzugsvariante. Heute wurde wegen der geringeren Ermüdungsbeanspruchung die Initialvorspannung auf $0,7 \cdot \beta_z$ erhöht.

2.2 Richtlinie des Bundesministeriums für Verkehr Nr. 28/1998

Bereits mit dem Allgemeinen Rundschreiben Straßenbau Nr. 23/1995 erbat das Bundesministerium für Verkehr, zunächst versuchsweise, für ausgewählte Hohlkastenbrücken besonderer Bedeutung um konstruktive und bauliche Vorkehrungen für die Anordnung später eventuell erforderlicher externer Zusatzspannglieder.

Im ARS Nr. 28/1998 wird dann die Bauweise mit externer Spanngliedführung wegen oben genannter Gründe für den Neubau von Hohlkästen zur Regelbauweise erklärt. Das Ministerium verspricht sich von dieser Maßnahme eine Einsparung von Kosten aufgrund der Nachrüstbarkeit solcher Konstruktionen, die sonst evtl. abgerissen werden müßten.

Das Ziel der neuen Bauweise besteht weiterhin darin, in den Stegen keine Spannglieder mehr anzuordnen, da es hier zu großen Problemen bei Einbau und Verdichtung des Betons kommt.

Um die „Robustheit“ der Bauwerke zu erhöhen wird ein Vorspanngrad gewählt der zwischen teilweiser und beschränkter Vorspannung liegt, d.h. die Dekompression muß unter einem Drittel der Verkehrslast und der ständigen Last erfolgen. Bei beschränkter