

Schriftenreihe Stahlbau – RWTH Aachen

Herausgeber:
Univ. Prof. Dr.-Ing. Markus Feldmann

Gründer:
Univ. Prof. Dr.-Ing. Dr.h.c. Gerhard Sedlacek

Heft 74

Daniel Pak

Zu Stahl-Verbundbrücken mit integralen Widerlagern

D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2012)

Shaker Verlag
Aachen 2012

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

Zugl.: D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2012)

Copyright Shaker Verlag 2012

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-0362-8

ISSN 0722-1037

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen
Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9
Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort des Herausgebers

Brücken mit integralen Widerlagern haben besondere Vorteile. Sie machen nicht nur wartungsaufwendige Fugen und Lager an den Fahrbahnübergängen überflüssig, sondern auch die Einspannung des Überbaus in die Widerlager erzeugt insbesondere für kleine und mittlere Spannweiten eine deutliche Anhebung der Momentenlinie, sodass häufig störende Mittelunterstützungen entfallen können.

Das Prinzip, Brückenüberbauten an den Enden einzuspannen, um mit niedrigeren Bauhöhen auszukommen, wurde bereits in den 1920er Jahren an Brücken im urbanen Umfeld angewendet und war der Grundgedanke der Entwicklung sogenannter Rahmenbrücken. Während diese jedoch hauptsächlich in Stahl oder Stahlbeton ausgeführt wurden, ist die Ausbildung von integralen Brücken in Stahlverbundbauweise relativ neu. Deswegen sind auch Fragestellungen, beispielsweise die des Ansatzes der „richtigen“ Erddruckbelastung, der Auswirkungen von zyklischen Temperatureinwirkungen und eine dauerhafte konstruktive Rahmeneckausbildung bis jetzt nicht richtig gelöst.

Hier setzt die Zielsetzung der Doktorarbeit von Herrn Daniel Pak an, nämlich für die mechanisch-konstruktiven Verhältnisse von Verbundbrücken mit integralen Widerlagern möglichst zutreffende Belastungsansätze infolge Temperaturzwängungen und differenzierten Erddrücken hinter der Widerlagerwand zu finden, und das Bemessungs- und Sicherheitskonzept darauf abzustellen, ferner möglichst einfache Empfehlungen für eine getrennte Berechnung von Überbau und Widerlager abzugeben und schließlich die Konstruktion gegen die Folgen von niedrigzyklischer Ermüdung abzusichern.

Die Arbeit hat sehr erfreulicherweise zu einer direkten Anwendung in aktuellen Brückenneubauten geführt. Ihre finanzielle Förderung entstammt im Wesentlichen dem Research Fund for Coal and Steel (RFCS) der Europäischen Kommission, die die Erforschung des Themas mit dem Projekt „INTAB – Economic Design of Composite Bridges with Integral Abutments“ ermöglicht hat. Der Förderung sei an dieser Stelle noch einmal sehr herzlich gedankt; ebenso wie Herrn Professor Dr. Milan Veljkovic von der Luleå University of Technology, Schweden, für die Übernahme des Korreferats ein ganz besonderer Dank gilt.

Dank geht auch an den Shaker Verlag für die Übernahme des Drucks und an den Forschungsförderungsverein Baustatik, Massivbau, Stahlbau (FFBMS) für den Beitrag zu den Druckkosten.

Aachen, im Juni 2012

Prof. Dr.-Ing. Markus Feldmann

Kurzfassung

Die DIN Fachberichte 101 (Einwirkungen auf Brücken) sowie 104 (Verbundbrücken) regeln die Bemessung auch von Brücken mit integralen Widerlagern.

Insbesondere im Bereich der Boden-Bauwerks-Interaktion stellen sich allerdings sowohl dem planenden Ingenieur als auch dem Prüfstatiker Fragen nach Bemessungsansätzen und Randbedingungen, deren Beantwortung auf Basis der vorliegenden Normungswerke nicht möglich ist und die es somit im jeweiligen Einzelfall immer wieder neu zu klären gilt. Auch die Sensitivität der Bemessung gegenüber variierenden unterschiedlichen Bodenparametern gilt es für verschiedene Brückenkonfigurationen zu klären.

Die vorliegende Arbeit liefert zunächst einen Überblick über die aktuelle Normung sowie über weiterführende Regeln der Technik die Boden-Bauwerksinteraktion betreffend. Zum einen wird ein Verfahren zur Ermittlung und zur Berücksichtigung der Erddrucklasten aus Hinterfüllung, hervorgerufen durch temperaturbedingte axiale Längenänderungen des Überbaus sowie durch Verkehrslasten auf der Hinterfüllung selbst, vorgestellt und in das Sicherheitskonzept nach DIN EN 1990 eingeordnet. Zum anderen werden Verfahren zur Berücksichtigung der horizontalen und vertikalen Gründungspfahlbettung diskutiert.

Um die Auswirkung verschiedener die Boden-Bauwerksinteraktion beeinflussender Parameter auf die Bemessung zu klären, wird darauf aufbauend ein Verfahren zur Trennung von Brückenüberbau und Brückenunterbau hergeleitet, programmtechnisch umgesetzt und validiert. Näher wird hierbei auf die Anwendbarkeit des Ansatzes auf symmetrische Systeme unter beliebigen Lasten eingegangen, welche der Einführung eines Korrekturfaktors bedarf.

Mithilfe des entwickelten Bemessungstools werden Parameterstudien an symmetrischen einfeldrigen Brückenbauwerken durchgeführt, welche den Einfluss unterschiedlicher Bettungen, Überbausteifigkeiten und Spanngrade des Überbaus auf die Bemessung aufzeigen.

Weiterhin wird auf die Problematik der niedrigzyklischen Ermüdung von stählernen Gründungspfählen eingegangen, welche bei der Bemessung von langen Brücken nicht mehr vernachlässigt werden kann. Hierbei wird ein Verfahren entwickelt und anhand von Versuchen validiert, welches es ermöglicht, die zur Bemessung benötigten Dehnungskollektive ohne Berücksichtigung der Belastungsgeschichte zu ermitteln. Auch wird ein Vorschlag zur Ermittlung eines adäquaten Temperaturlastspektrums zur Ermüdungsbemessung gemacht.

Summary

In general, DIN Fachbericht 101 (Actions on bridges) and DIN Fachbericht 104 (Composite bridge structures) give design rules for the design of composite bridges.

However, regarding the design procedure for composite bridges with integral abutments, a lack of rules and specifications especially regarding the soil-structure interaction is apparent. Although several state of the art approaches are known and available, a consistent procedure for the treatment of active and passive earth pressure is not given. Furthermore the sensitivity of design (based on different bridge configurations) to varying soil parameters has not been clarified in a comprehensive way.

First of all this thesis summarizes present design standards and procedures as well as additional state of the art concepts regarding soil-structure interaction. On the one hand, a method for the determination and consideration of earth pressure loads caused by backfill is presented. Here temperature induced variations of the superstructure's length as well as embankment surcharges caused by traffic loading are considered. This method is evaluatively integrated in the safety concept of DIN EN 1990. On the other hand, an approach for the consideration of horizontal as well as vertical foundation pile beddings is summarized.

Based on this, a concept for the separation of superstructure and sub-structure is derived to allow for comprehensive parametric studies regarding the influence of different soil parameters on the design of the bridge structure. This concept is implemented into a stand-alone software tool and validated. For the consideration of non-symmetric loads on symmetric systems, a load correction factor is established.

Parametric studies on single span bridges are performed and evaluated by means of the software tool. These studies allow for the identification of the influence of parameters such as different coefficients of subgrade reaction, superstructure stiffnesses and superstructure restraints on the design of the structure.

Low cycle fatigue design of steel foundation piles is governed as well, which might become decisive for the design of long bridges. A method is proposed allowing for the determination of strain reversals disregarding the actual load history. This concept is validated by means of low cycle fatigue tests. Furthermore an adequate temperature load spectrum for fatigue design is proposed.

Inhaltsverzeichnis

1	Nomenklatur und Symbole	1
2	Einleitung	9
2.1	Regeln zur Bemessung integraler Widerlagerbrücken	9
2.2	Zielsetzung	11
2.3	Inhalt der Arbeit	13
3	Stand der Technik	17
3.1	Regeln zur Bemessung integraler Widerlagerbrücken	17
3.1.1	DIN-Fachberichte	17
3.1.2	Lastannahmen	18
3.1.3	Erddrucklasten aus Hinterfüllung	24
3.1.4	Erddrucklasten aus Verkehr auf Hinterfüllung	29
3.1.5	Bemessung von Gründungspfählen	33
3.1.6	Bemessung der Rahmenecke	49
3.1.7	Niedrig-zyklische Ermüdung	56
3.1.8	Betonierreihenfolge	56
4	Entwicklung einer analytischen Lösung	59
4.1	Problemstellung und Lösungsweg	59
4.2	Reduktion des Rahmentragwerks	59
4.2.1	Problemstellung und Lösungsweg	59
4.3	Idealisierung des Widerlagers	61
4.3.1	Problemstellung und Lösungsweg	61
4.3.2	Idealisierung des Erdreichs im Bereich der Tiefgründung	62
4.3.3	Idealisierung der Widerlagerhinterfüllung	66

4.4	Einfluss von Zwangsschnittgrößen	69
4.4.1	M_0^{II} und N^{II} aus Längenänderung des Überbaus ΔL^I	69
4.4.2	M_0^{II} und N^{II} aus Eckmomenten M_0^I	71
5	Übertragung der analytischen Lösung in die Praxis	73
5.1	Problemstellung und Lösungsweg	73
5.2	Äquivalentes Trägerrost	74
5.3	Aufstellen der Einflusslinien	75
5.3.1	Uneingespannter Fall	75
5.3.2	Symmetrischer Fall	76
5.3.3	Allgemeiner Fall: Kombination Symmetrischer Fall / Antimetrischer Fall	77
5.4	Herleitung k_{mgc}	78
6	Berechnungsbeispiele für ausgewählte Anwendungsfälle	79
6.1	Problemstellung und Lösungsweg	79
6.2	Einfeldriger Verbundrahmen	79
6.2.1	Statisches System	79
6.2.2	Abbildung des Überbaus durch einen Trägerrost	80
6.2.3	Ersatz der Widerlager durch Rotationsfedern	83
6.2.4	Zwischenfazit	89
7	Einfluss unterschiedlicher Bemessungsansätze	91
7.1	Problemstellung und Lösungsweg	91
7.2	Einfluss der Rotationsfedersteifigkeit auf die Bemessung des Überbaus	91
7.3	Einfluss der elastischen Bettung auf die Bemessung des Überbaus	94
7.3.1	Verformung des Überbaus infolge Temperatur	94
7.3.2	Variation der horizontalen Pfahlbettung	96

7.3.3	Variation der Bettungsverteilung	98
7.4	Erddruck auf die Widerlagerrückwand	104
7.4.1	Ermittlung des mobilisierten passiven Erddrucks	104
7.4.2	Einfluss der Gründung auf die Größe des mobilisierten passiven Erddrucks	108
7.5	Einfluss des Erddrucks auf die Bemessung des Überbaus	109
8	Feldmessungen Entenpfuhler Brücke	113
8.1	Statisches System	113
8.2	Temperatur- und Verformungsmessungen	113
9	Ermüdungsverhalten der Gründungspfähle	117
9.1	Problemstellung und Lösungsweg	117
9.2	Dehnungsermittlung über den Pfahlquerschnitt	118
9.3	Berücksichtigung des eingepprägten Spannungs-/ Dehnungszustandes	120
9.4	Dehnungskollektiv unter Berücksichtigung der Belastungsgeschichte	121
9.5	Dehnungen unter Berücksichtigung einer kraftgesteuerten, alternierenden Axiallast	126
9.6	Aufstellung des Verformungskollektivs	128
9.7	Low Cycle Fatigue Versuche	132
9.8	Beispiele zur Schadensakkumulationen	136
10	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	141
11	Literaturverzeichnis	149
Anhang A	Erddruckbeiwerte	I
A.1	Ruhedruckbeiwert K_0	I
A.2	Beiwerte K_a, K_p	III
Anhang B	Charakteristische axiale Pfahlwiderstände	VII

B.1	Charakteristische axiale Pfahlwiderstände aus Erfahrungswerten für Bohrpfähle (DIN 1054, 2005) (Anhang B)	VII
B.2	Charakteristische axiale Pfahlwiderstände aus Erfahrungswerten für gerammte Verdrängungspfähle (DIN 1054, 2005) (Anhang C)	VIII
Anhang C	Druckpfahlgruppen	XI
Anhang D	Dehnungen in der Randfaser (Vorbemessung)	XIX
Anhang E	Bemessungstool TEQUILA	XXI
Anhang F	Numerische Ermittlung der Dehnungsverteilung im Querschnitt	XXIII