Bauhaus-Universität Weimar

Institut für Konstruktiven Ingenierbau
Professur Holz- und Mauerwerksbau

Forschungsvorhaben iVTH / DGfH / AiF 16266 BR
(12/2009 – 03/2012)

Trag-, Verformungs- und Ermüdungsverhalten spezieller Verbundelemente für Holz-Beton-Verbundstraßenbrücken

Forschungsstelle:

Bauhaus-Universität Weimar
Fakultät Bauingenieurwesen
Institut für Konstruktiven Ingenieurbau
Professur für Holz- und Mauerwerksbau
Marienstraße 13 A
99423 Weimar
Fon: +49 (0) 3643 / 58 45 46
Fax +49 (0) 3643 / 58 45 43
holz-mauerwerksbau@uni-weimar.de
www.uni-weimar.de/Bauing/holz/

Leiter der Forschungsstelle/ Projektleiter:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Karl Rautenstrauch
karl.rautenstrauch@uni-weimar.de

Projektbearbeiter:

Dipl.-Ing. Jens Müller
muelle21@uni-weimar.de

Zusammenfassung

Bereits Ende 2008 konnte mit der Realisierung der Birkbergbrücke in Wippra (Bundesland Sachsen-Anhalt) die erste Holz-Beton-Verbundstraßenbrücke in Deutschland für den Straßenverkehr freigegeben werden (Abb. 1). Das bei dieser Schwerlastbrücke für die Übertragung der in der Verbundfuge zwischen Holz und Beton auftretenden Schubkräfte eingesetzte Verbundelement basierte auf den richtungweisenden Ergebnissen des vorausgegangenen AiF-Forschungsvorhabens 14275 BR dieser Forschungsstelle. Das als sogenannte Dübelleiste (Abb. 1) bezeichnete Verbundelement besteht aus einer 3 cm starken Stahlplatte mit betonseitig aufgeschweißten Kopfbolzendübeln. Somit werden für die Kraftübertragung in die Betonplatte die bewährten und bauaufsichtlich zugelassenen Anschlussdetails des Stahlverbundbaus genutzt, während die holzseitige Schubkraftübertragung analog der Versatzverbindung nach dem Prinzip des Formschlusses erfolgt.

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens „Trag-, Verformungs- und Ermüdungsverhalten spezieller Verbundelemente für Holz-Beton-Verbundstraßenbrücken“ konnten eine Vielzahl weiterführender experimenteller Untersuchungen realisiert werden, wobei deren Schwerpunkt auf das holzseitige Trag- und Verformungsverhalten des Verbundelements Dübelleiste unter Kurzzeit- und insbesondere Ermüdungsbeanspruchungen ausgerichtet war. Gerade die Kenntnis des Tragverhaltens unter zyklischer Belastung spielt für eine Anwendung im Straßenbrückenbau mit sehr häufig

wiederholt auftretenden Lasteinwirkungen aus dem Verkehr eine für die Beurteilung der möglichen Nutzungsdauer einer Straßenbrücke entscheidende Rolle.

Kurzzeitscherversuche

Zur grundlegenden Einschätzung der Grenztraglast sowie des Last-Verformungsverhaltens wurden zunächst insgesamt elf Kurzzeitschertests als sogenannte Push-Out-Tests nach DIN EN 26891:1991 durchgeführt, welche als Grundlage für die später durchgeführten Versuche unter zyklischer Belastung dienten. Neben der bei dem Pilotprojekt Birkbergbrücke eingesetzten konventionellen Fugenausbildung mit direktem Stahl-Holz-Stirnflächenkontakt im Lastübertragungsbereich (Serie E, Abb. 2), wurde zudem eine modifizierte Ausbildung der Kontaktfuge zum Holz untersucht. Diese neuartige Fugenausbildung ist gekennzeichnet durch die Anordnung eines relativ schmalen Polymerbetonverguss-Streifens zwischen Dübelleiste und Holz (Serie E-PC, Abb. 3). Bei dem dabei eingesetzten Polymerbeton (PC) handelt es sich um ein bauaufsichtlich zugelassenes Endprodukt mit sehr hoher Druckfestigkeit, welches sich aus einer Matrix aus mineralischen Zuschlagsstoffen und einem Polymer-Harz-Härter-System als Bindemittel zusammensetzt.

Abb. 1: Blockverleimter Brettschichtholzträger mit Verbundelement Dübelleiste (Pilotprojekt Birkbergbrücke Wippra)

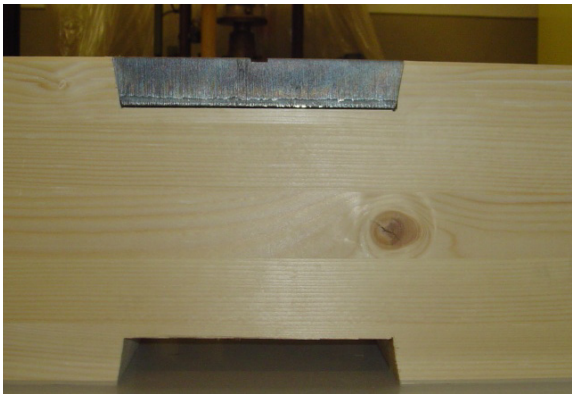

Abb. 2: Konventionelle Fugenausbildung mit direktem Kontakt zwischen stählerner Dübelleiste und Holz (Serie E)

Abweichend vom Vorgängerforschungsvorhaben wurde infolge der Fokussierung auf die holzseitige Schubkraftübertragung der Versuchsaufbau zur Vereinfachung der Versuchsdurchführung rationalisiert, indem die die Betonquerschnitte der Fahrbahnplatte repräsentierenden Bestandteile der Probekörper durch entsprechende Stahlprofile substituiert wurden, wobei das grundlegende Prinzip des Push-Out-Tests insgesamt erhalten blieb. Dieser sowohl für die Kurzzeit- als auch für die Versuche unter zyklischer Beanspruchung verwendete, angepasste Versuchsaufbau wurde in eine servohydraulische Prüfanlage mit einer maximalen Kapazität von 1.000 kN eingebaut (Abb. 4). Neben üblichen taktilen Messmethoden bestehend aus induktiven Weggebern kam erstmals für derartige Scherversuche zusätzlich ein berührungsloses photogrammetrisches Messsystem zum Einsatz (Abb. 5), welches auch die detaillierte Erfassung der lokalen Dehnungsverteilungen im Lasteinleitungsbereich an der Probekörperoberfläche über den gesamten Versuchsverlauf ermöglichte.

Die gewonnenen experimentellen Ergebnisse zeigen deutlich die Vorteile der Anordnung einer Polymerbeton-Vergussfuge im lastübertragenden Bereich. Der Einsatz des hochfesten Polymerbetons ermöglicht dabei einen Ausgleich der Herstellungstoleranzen, sodass das Verbundelement Dübelleiste passgenau in die gefräste Kerve eingebaut werden kann. Infolge der damit verbundenen Eliminierung des Anfangsschlupfes wird eine hohe Verbundelementsteifigkeit sowie eine gleichmäßigere Lastverteilung in der Holzkontaktfuge erreicht. Hieraus resultieren im Vergleich zur konventionellen Kontaktfugenausbildung deutlich geringere Streuungen bei den experimentellen Ergebnissen, wodurch in der Folge höhere Sicherheiten erzielt werden können. Bei allen getesteten Proben der Kurzzeitscherversuche trat unabhängig vom Fugendesign bei Erreichen der Schubfestigkeit

des Vorholzes ein finales sprödes Schubversagen durch Abscheren ein (Abb. 5). Diesem globalen Tragfähigkeitsverlust vorgeschaltet war, einhergehend mit Plastifizierungen im zur Faserrichtung des Holzes geneigten Kontaktbereiches des Hirnholzes zur Stirnfläche der Dübelleiste, stets auch ein mehr oder weniger ausgeprägtes Holzdruckversagen zu beobachten.

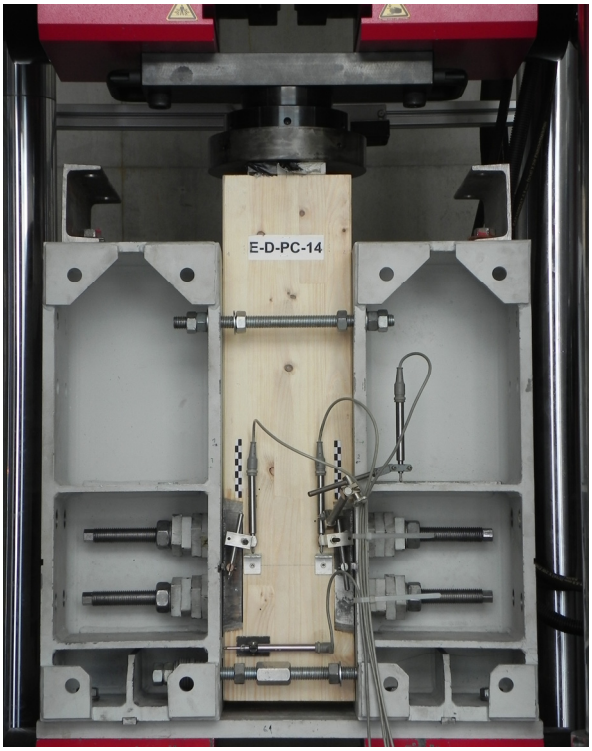

Abb. 4: Versuchsaufbau mit Messequipment für die Kurzzeit- und Ermüdungsversuche

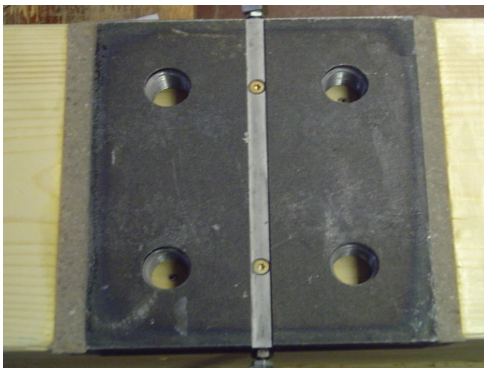

Abb. 3: Probe mit Polymerbetonstreifen in der lastübertragenden Zone (Serie E-PC)

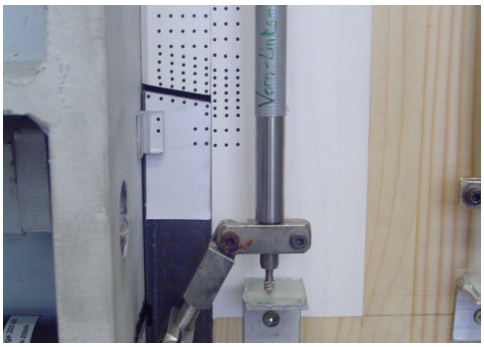

Abb. 5: Versagen infolge Abscheren des Vorholzes, appliziertes Photogrammetrie-Messfeld

Scherversuche unter zyklischer Beanspruchung

Neben den Kurzzeitschertests wurden insgesamt 24 Versuche unter zyklischer Belastung mit drei unterschiedlichen Laststufen mit zugeordneten Oberlastniveaus von 40, 50 und 60 % der mittleren Kurzzeitbruchlast durchgeführt. Das Hauptziel dieser Versuche bestand vor allem in der Ermittlung von sogenannten Ermüdungskennlinien, welche an die im Stahlbau gebräuchlichen „Wöhlerlinien“ angelehnt sind und eine zuverlässige Bewertung des holzseitigen Ermüdungstragverhaltens des Verbundelements Dübelleiste ermöglichen. In sechs unterschiedlichen Testserien wurden insgesamt neun Versuche (drei je Serie) mit der konventionellen Verbundfugenausbildung und insgesamt 15 Versuche (fünf je Serie) mit dem zuvor beschriebenen neuartigen modifizierten Fugendesign durchgeführt. Das für diese sogenannten Einstufenversuche unter einer oft wiederholten Druckschwellbeanspruchung verwendete Lastregime mit drei unterschiedlichen Phasen basiert auf der Auswertung einer umfangreichen Literaturrecherche sowie Normvorgaben. Im Wesentlichen ist der Grundgedanke des Versuchs und folglich auch die Belastungshistorie durch den fortwährenden Vergleich statischer Zwischenmessungen nach bestimmten Schwingspielanzahlen mit der Ausgangsposition charakterisiert, um auf diese Weise die mit zunehmender Lastspielzahl postulierte Zunahme der Schädigung hinreichend genau zu erfassen. Von den insgesamt 24 unter oft wiederholter Belastung durchgeführten Tests versagten acht Probekörper innerhalb der zyklischen Belastung, wohingegen die restlichen 16 Proben die vorher festgelegte Mindestschwingspielanzahl von 2.282.500 Lastwechseln erreichten, darunter auch alle Proben der Lastniveaustufe mit 50 % des Mittelwertes der Kurzzeitbruchlasten. Hinsichtlich erster Aussagen zur Dauerfestigkeit ist somit diese Belastungsstufe zu favorisieren, da hiermit auch das im Brückenbauwerk tatsächlich im

ungünstigsten Fall anzunehmende Lastniveau ausreichend konservativ abgeschätzt werden kann.

Im Ergebnis können somit in Anlehnung an „Wöhlerlinien“ auf statistischen Analysen der Versuchsergebnisse basierende Ermüdungskennlinien für die beiden unterschiedlichen Ausbildungen der Holzscherfuge vorgeschlagen werden (Abb. 6 und Abb. 7). Hinsichtlich des Verlaufs der „Wöhlerlinie“ unterscheidet man die Bereiche der Kurzzeit- und der Zeitfestigkeit sowie letztlich der Dauerfestigkeit als jene Festigkeit, welche ein Bauteil unendlich oft ohne Bruch ertragen kann. In manchen Fällen existiert bei dem Übergang der Zeitfestigkeitsgeraden in den Dauerfestigkeitsbereich eine horizontale Gerade parallel zur Abszisse, welche die konkrete Angabe einer Dauerfestigkeit erlaubt. Im vorliegenden Fall kann aufgrund des negativen Anstieges der Ermüdungskennlinien beider Fugenausbildungen im Dauerfestigkeitsbereich kein konkreter Grenzwert für die Dauerschwingfestigkeit angegeben werden. Dennoch ermöglichen die angegebenen Ermüdungskennlinien die Berechnung der Festigkeitsdegradation infolge der zyklischen Belastung zu jeder beliebigen Schwingspielanzahl. In diesem Zusammenhang kann die Festigkeit nach 2.282.500 Schwingspielen – entspricht in etwa dem Übergang vom Zeit- in den Dauerfestigkeitsbereich – für die konventionelle Fugenausbildung mit direktem Kontakt zwischen Stahl und Holz unter Annahme der 5 %-Quantile der Ergebnisse zu 51 % der zugehörigen Kurzzeittraglast abgeschätzt werden (Abb. 6). Für die modifizierte Fugenkonfiguration mit Polymerbeton-Vergussfuge in der lastübertragenden Zone können bei Nutzung der 5 %-Quantilwerte für die Ergebnisse 39 % der korrespondierenden Kurzzeittraglast als Festigkeit bei der in diesem Projekt veranlagten Mindestschwingspielanzahl von 2.282.500 Lastwechseln vorgeschlagen werden (Abb. 7).

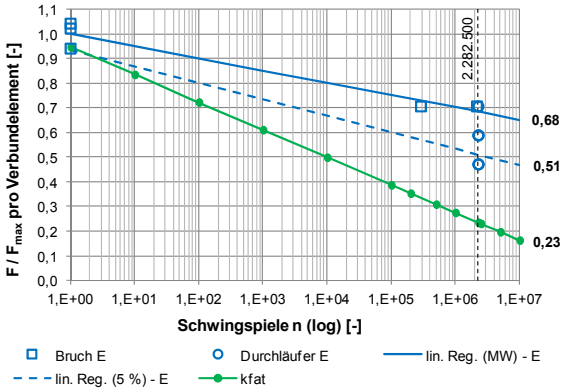

Abb. 6: Vorschläge für die „Wöhlerlinien“ für den Mittelwert und für das 5 %-Quantil der Ergebnisse für **Serie E**

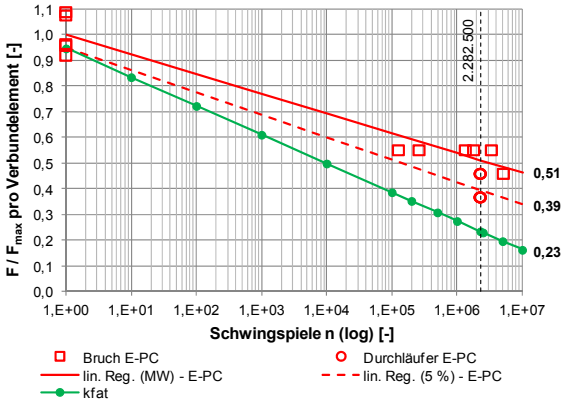

Abb. 7: Vorschläge für die „Wöhlerlinien“ für den Mittelwert und für das 5 %-Quantil der Ergebnisse für **Serie E-PC**

Ermüdungsnachweis für Holz-Beton-Verbundstraßenbrücken

Auf Grundlage der erarbeiteten Ermüdungskennlinien kann der in der Holzbrückennorm DIN EN 1995-2:2010 verankerte Ermüdungsnachweis auch für Holz-Beton-Verbundstraßenbrücken angewendet werden. Entsprechend dem Nachweiskonzept der Norm kann mit Hilfe des Ermüdungsbeiwerts k_{fat} die Festigkeitsminderung infolge der Anzahl der Belastungszyklen in Bezug auf die statische Festigkeit ermittelt werden, wobei in Abhängigkeit von Beanspruchungsart und -richtung unterschiedliche Ermüdungsbeiwerte existieren. Im vorliegenden Fall trat unabhängig von der Verbundfugenausbildung sowohl im Kurzzeit- als auch im Ermüdungsversuch stets ein Schubversagen infolge Abscheren des Vorholzes als finaler Versagensmechanismus auf. Zuvor konnte als Folge plastischer Dehnungen in der stirnseitigen Lastübertragungszone ein Überschreiten der Druckfestigkeit konstatiert werden. Die Gegenüberstellung der ermittelten Ermüdungskennlinien für den Fall der Schubbeanspruchung mit der k_{fat}-Geraden gemäß Norm bestätigt (Abb. 6 und Abb. 7), dass die Ermüdungsbeiwerte entsprechend der Norm für die Anwendung beider Fugenausbildungen mit dem Verbundelement Dübelleiste auf der konservativen Seite liegen

und folglich ein Führen des Ermüdungsnachweises möglich ist. Darüber hinaus werden für eine effizientere Bemessung Ermüdungskoeffizienten „a“ vorgeschlagen, welche eine Berechnung von Ermüdungsbeiwerten k_{fat} speziell für die beiden vorgestellten Verbundfugenausbildungen erlauben.

Aus technischer Sicht bietet das in diesem Forschungsprojekt hinsichtlich des Trag- und Ermüdungsverhaltens weiterführend untersuchte Verbundelement Dübelleiste wesentliche Vorteile im Vergleich zu anderen, im vollständigen Bericht kurz vorgestellter Verbundelementausbildungen. Die in diesem Forschungsprojekt gewonnenen wissenschaftlichen Erkenntnisse zur zuverlässigen Beurteilung des Tragwiderstandes unter Ermüdungseinwirkungen können somit zur zukünftig gesteigerten baupraktischen Realisierung solcher hybrider Holz-Verbund-Straßenbrücken beitragen.

Danksagung

Die vorliegende Forschungsarbeit wurde im Rahmen des Forschungsprojektes “Trag-, Verformungs- und Ermüdungsverhalten spezieller Verbundelemente für Holz-Beton-Verbundstraßenbrücken“ erarbeitet, welches durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e. V. (AiF) in Zusammenarbeit mit dem internationalen Verein für Technische Holzfragen e. V. (iVTH e. V.) als Nachfolger der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e. V. (DGfH e. v.) finanziert wurde. Für die gewährte Unterstützung sei allen Förderern recht herzlich gedankt.

Der vollständige Bericht kann bestellt werden bei:

Bauhaus-Universität Weimar
Professur für Holz- und Mauerwerksbau
Marienstraße 13 A
99423 Weimar
holz-mauerwerksbau@uni-weimar.de

und

Internationaler Verein für Technische Holzfragen e. V. (iVTH e. V.)
Bienroder Weg 54 E
38108 Braunschweig