

Universität Stuttgart
Institut für Konstruktion und Entwurf
Schwerpunkte: Stahlbau, Holzbau und Verbundbau
Prof. Dr.-Ing. Ulrike Kuhlmann

AiF-Forschungsvorhaben 17070 N

Vereinfachter Ermüdungsnachweis von Holzbauteilen in Holz- und Holz-Beton-Verbundstraßenbrücken

Forschungsstelle: Universität Stuttgart
Institut für Konstruktion und Entwurf
Schwerpunkte: Stahlbau, Holzbau und Verbundbau
Pfaffenwaldring 7
70569 Stuttgart

**Leiter der
Forschungsstelle:** Prof. Dr.-Ing. Ulrike Kuhlmann

Projektbearbeiter: Dipl.-Ing. Katrin Kudla (geb. Stephan)

Laufzeit: 01. Juni 2012 - 30. November 2014

KURZDARSTELLUNG

1 Motivation

Das Forschungsvorhaben hatte die Weiterentwicklung und Spezifizierung der Ermüdungsnachweise von Holzbauteilen in Holz- und Holz-Beton-Verbundstraßenbrücken zum Inhalt. Vor allem durch die Kombination der Werkstoffe Holz und Beton lassen sich neuartige, wirtschaftliche Straßenbrücken mit Spannweiten zwischen 10 und 30 m verwirklichen. Das große Marktpotenzial zeigt sich dadurch, dass ca. 50 % aller Straßenbrücken in Deutschland Spannweiten zwischen 5 und 30 m aufweisen. Für den Fahrbahnaufbau, die Geländer oder Kappen können praxistaugliche, bewährte Details von Massivbrücken übernommen werden, sodass hier keine neuen Sonderlösungen entwickelt werden müssen.

Allerdings stellt die Verkehrsbelastung eine wechselnde Beanspruchung dar, die die Notwendigkeit von Ermüdungsnachweisen nach sich zieht. Mangelhafte normative Regelungen für den Ermüdungsnachweis von Holzbauteilen in Straßenbrücken und insbesondere für Verbindungsmittel in Holz-Beton-Verbundtragwerken erschweren die Bemessung und die Anwendbarkeit dieser neuartigen Bauweise. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden Holz-Beton-Verbundstraßenbrücken mit sogenannten Kerven als Verbindungsmittel (vgl. Abb. 1) untersucht, da eine derartige Konstruktion zahlreiche Vorteile gegenüber reinen Holzbrücken bietet. Durch die Entwicklung eines praxisorientierten Bemessungsvorschlages für die Ermüdungsnachweise von Holzbauteilen und Kerven wurde die Möglichkeit geschaffen, die Bemessung von Holz-Beton-Verbundstraßenbrücken zu vereinfachen und zu optimieren.



Abbildung 1: Herstellung einer holzseitigen Kerve mit Bewehrungsbügeln als Abhebesicherung

2 Vorgehen zur Lösung der Fragestellung

In einem ersten Schritt wurde die Situation von Holz-Beton-Verbundstraßenbrücken in Hinblick auf den Stand der Normung, die Randbedingungen und Berechnungsmodelle aufgearbeitet. Für die folgenden Berechnungen und Simulationen wurden Stabwerkmodelle der gewählten Brücken erstellt. Bei einem Stabwerkmodell werden dem Obergurt die Material- und Geometriekennwerte der Betonplatte und dem Untergurt die Material- und

Geometriekennwerte der Holzträger zugeordnet. Ober- und Untergurt werden im Modell mit Druckstäben verbunden. An den Stellen, wo sich die Kerven befinden, wird ein Kragarm modelliert, dem eine effektive Biegesteifigkeit zugewiesen wird. In Abb. 2 ist beispielhaft ein Stabwerkmodell für eine HBV-Brücke mit Kerven dargestellt. Die Beanspruchung der Verbindungsmittel ergibt sich aus den Querkraften der Kragarme. Sprünge in den Momenten- und Normalkraftverläufen von Ober- und Untergurt, die aus der Schubkraft in den Verbindungsmitteln resultieren, können ebenfalls direkt aus dem Modell abgelesen werden und eine Berücksichtigung von Einzellasten ist ohne weiteres möglich.

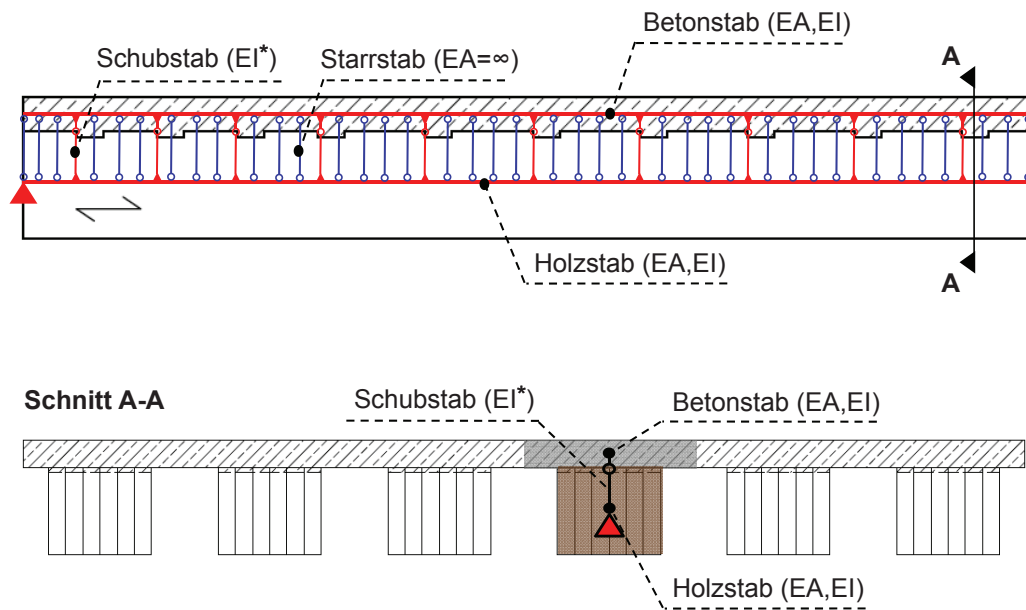


Abbildung 2: Stabwerkmodell für eine HBV-Brücke mit Kerven (Seitenansicht und Schnitt)

Im nächsten Schritt wurden die Grundlagen für die numerische Parameterstudie zu den Ermüdungsnachweisen der HBV-Brücken geklärt. Bei der Berechnung von Beanspruchungsamplituden verschiedener Schnittgrößen wurden für die Abbildung der Verkehrsbeanspruchung normativ geregelte Ermüdungslastmodelle ausgewählt. Diese Beanspruchungsamplituden wurden auf der Basis von Einflusslinien ermittelt. Demgegenüber wurde für die Berechnung der Schädigungen von Brückenbauteilen das Ermüdungstragverhalten von Holz, Beton und Kerven als Verbindungsmittel zusammengestellt.

Die umfangreichen numerischen Untersuchungen zu den Ermüdungsnachweisen von einfeldrigen Holz-Beton-Verbundstraßenbrücken mit Kerven werden im Folgenden zusammengefasst. Es wurden insgesamt drei verschiedene Querschnittstypen jeweils mit Spannweiten von 10 bis 30 m untersucht. Dabei handelte es sich um einen einstreifigen Querschnitt für eine Wirtschaftswegebrücke (vgl. Abb. 4) und zwei verschiedene zwei-streifige Brückenquerschnitte zur Überführung von Bundesstraßen (vgl. Abb. 3 bzw. Abb. 5 und Abb. 6).



(a) Seitenansicht der Brücke



(b) Querschnitt der Brücke (Typ 2)

Abbildung 3: Vorlandbrücke der Bogenbrücke über die Agger in Lohmar Höngesberg (D), Baujahr 2014 (Fotos © Schaffitzel + Miebach Faszination Brücken GmbH)

Es wurden folgende typische Straßenbrückenquerschnitte und Materialparameter für die Modellierung der HBV-Brücken gewählt:

Statisches System:	Einfeldträger
Spannweite:	10 m, 15 m, 20 m, 25 m und 30 m
Gesamtbreite:	a) Einstreifiger Querschnitt für eine Wirtschaftswegebrücke mit einer Gesamtbreite von 4,5 m zwischen den Geländern b) Zweistreifiger Querschnitt mit einer Gesamtbreite von 10,0 m (RQ 7,5) oder 10,5 m (RQ 9,5) zwischen den Geländern
Querschnittstypen:	Typ 1) Ein blockverleimter BSH-Querschnitt (vgl. Abb. 4) Typ 2) Zwei blockverleimte BSH-Querschnitte (vgl. Abb. 3 und 5) Typ 3) Mehrere BSH-Träger (vgl. Abb. 6)
Verbindungsmittel:	Kerve
Holzgüte:	GL 28c
Betongüte:	C 40/50

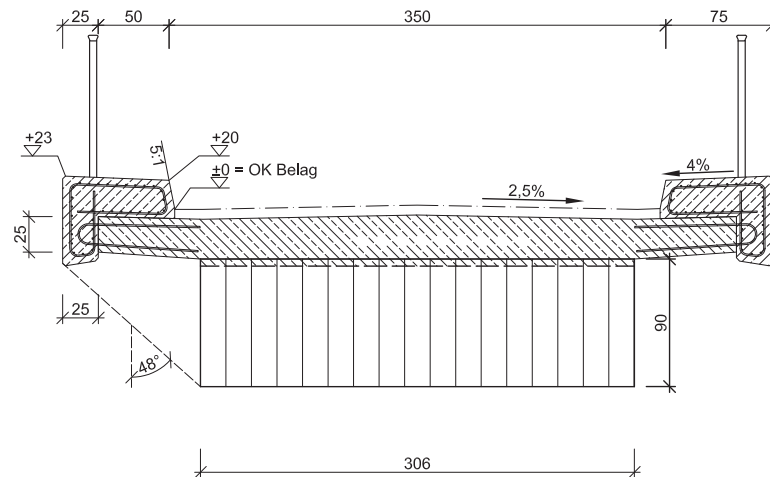


Abbildung 4: Regelquerschnitt für einstreifige Wirtschaftswegebrücke (Typ 1 Spannweite 20 m), Abmessungen in cm

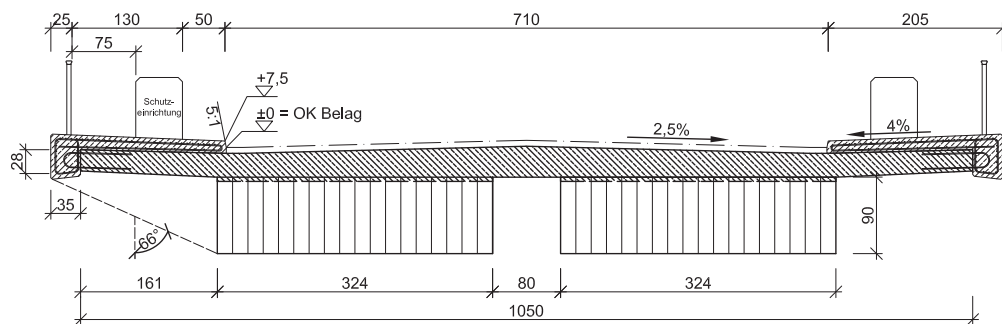


Abbildung 5: Regelquerschnitt RQ 9,5 (Typ 2 Spannweite 20 m), Abmessungen in cm

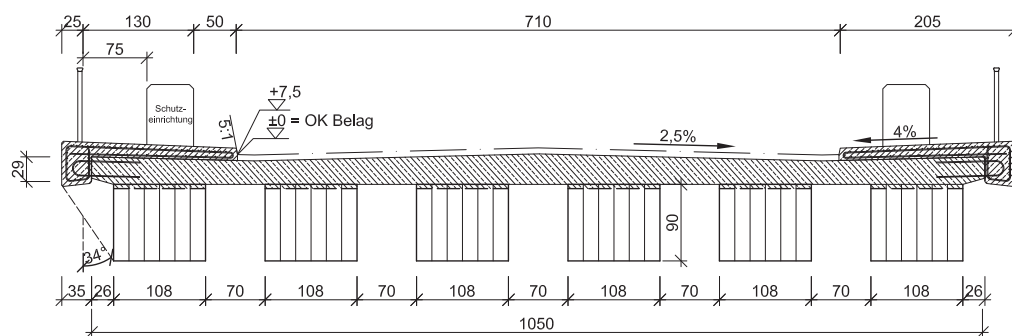


Abbildung 6: Regelquerschnitt RQ 9,5 (Typ 3 Spannweite 20 m), Abmessungen in cm

Aufbauend auf einer statischen Vorbemessung der Querschnitte wurden für zwei verschiedene Ermüdungslastmodelle, vier verschiedene Verkehrskategorien und rechnerischen Nutzungsdauern zwischen 80 und 140 Jahren Schädigungen der Holzbauteile unter Schubspannung an der Kerne, Normalspannung in Feldmitte und Schubspannung am Auflager berechnet. Auf der Grundlage der Parameterstudie konnten vereinfachte Bemessungsregeln für die Ermüdungsnachweise erarbeitet werden.

3 Ergebnisse der Untersuchungen

Es zeigte sich, dass für Holz-Beton-Verbundstraßenbrücken mit Spannweiten größer oder gleich 25 m bei Nutzungsdauern bis maximal 140 Jahren grundsätzlich keine Ermüdungsnachweise der Holzbauteile erforderlich waren. Ermüdungsnachweise konnten darüber hinaus auch für Straßenbrücken der niedrigen Verkehrskategorien mit einem Verkehrsaufkommen von maximal 125.000 LKW pro Jahr entfallen. In diesen Fällen dominierten die statischen Nachweise die Querschnittsbemessung. Des Weiteren konnte ein Ermüdungsversagen des Holzquerschnittes unter Normalspannung infolge Biegemoment und Zugkraft in Feldmitte sowie unter Schubspannung am Auflager in allen betrachteten Fällen ausgeschlossen werden.

Es wurde ein neuer, vereinfachter Ermüdungsnachweis für die Kerve hergeleitet. Für dieses Verbindungsmittel konnte ein Ermüdungsversagen für die höheren Verkehrskategorien mit bis zu 2 Mio. LKW pro Jahr und Spannweiten unter 25 m nicht in jedem Fall ausgeschlossen werden. Der Bemessungsvorschlag beinhaltet ein zweistufiges Nachweisverfahren. In Abb. 7 ist das entsprechende Bemessungsschema für den vereinfachten Ermüdungsnachweis der Kerve dargestellt.

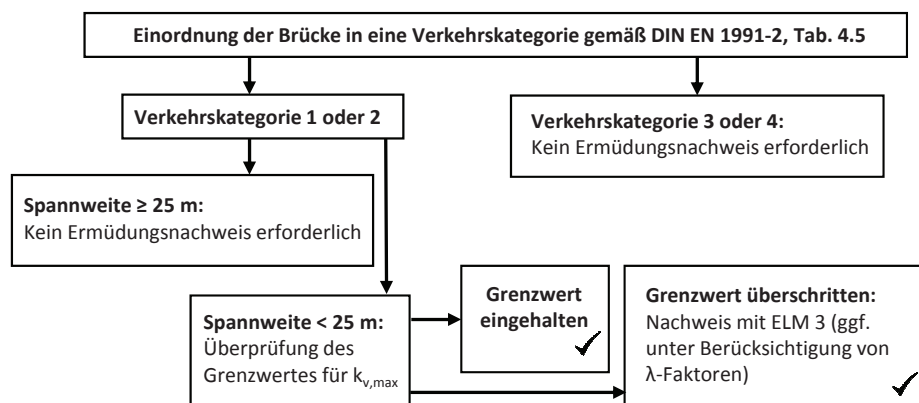


Abbildung 7: Bemessungsschema für den vereinfachten Ermüdungsnachweis der Kerve

In einem ersten Schritt wird ein Grenzwert, der von der Ermüdungsfestigkeit abhängt, der einwirkenden Ermüdungsbeanspruchung gegenübergestellt. Wird dieser Grenzwert überschritten, ist im zweiten Schritt ein Ermüdungsnachweis mithilfe eines schädigungsäquivalenten Ersatzkollektivs, wie es auch für andere Bauweisen üblich ist, durchzuführen. Dieser Ermüdungsnachweis hat das Format eines gewöhnlichen statischen Nachweises. Ein genauer, komplexer Ermüdungsnachweis mithilfe der linearen Schadensakkumulationshypothese kann somit für typische Holz-Beton-Verbundstraßenbrücken mit Kerven entfallen.

4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens tragen zu einer durchschaubaren, strukturierten und einfachen Ermüdungsbemessung von Holz-Beton-Verbundstraßenbrücken bei.

Für die betrachteten praxisrelevanten Fälle konnten zahlreiche Konfigurationen identifiziert werden, für die keinerlei aufwändige Ermüdungsnachweise notwendig sind. Auch wenn als bevorzugte Einsatzbereiche von Holz-Beton-Verbundstraßenbrücken für Pilotprojekte zunächst Wirtschaftswegebrücken und Straßenbrücken mit einem geringen LKW-Aufkommen zu sehen sind, konnte das Vorhaben deutlich machen, dass hohe Verkehrskategorien und selbst Nutzungsdauern von mehr als 100 Jahren hinsichtlich der Ermüdung ohne Probleme erreicht werden können. Die Dimensionierung von typischen Holz-Beton-Verbundstraßenbrücken mit bis zu 30 m Spannweite wird vorwiegend durch die statischen Kurzzeit- und Langzeitnachweise bestimmt. Durch die Forschungsergebnisse wird Holzbaufirmen und Ingenieurbüros die Möglichkeit gegeben, eine schnelle, einfache Ermüdungsbemessung durchzuführen und somit das Potenzial der Holz-Beton-Verbundbauweise in vollem Maße auszuschöpfen. Dadurch kann die Wettbewerbsfähigkeit von Holzstraßenbrücken gegenüber der Stahlbeton- und Stahl-Beton-Verbundbauweise gesteigert werden.

Danksagung

Das Forschungsvorhaben Nr. 17070 N der Forschungsvereinigung *Internationaler Verein für Technische Holzfragen (iVTH)* wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Die Autoren des Forschungsberichts bedanken sich vielmals für die finanzielle Unterstützung.

Weiterhin gilt Dank dem projektbegleitenden Arbeitskreis, der durch hilfreiche Anregungen und Diskussionen zum erfolgreichen Abschluss des Forschungsprojektes beigetragen hat, sowie allen Fachleuten, die mit ihren Ideen und Fragen das Forschungsvorhaben unterstützt haben.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Der vollständige Bericht kann bestellt werden bei:

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