



# **Entwicklung einheitlicher Richtlinien für den Entwurf, den Bau, die Überwachung und Prüfung geschützter Holzbrücken**

—

## **Protected Timber Bridges (ProTimB)**

(Förderkennzeichen: 13FH013PX5)

## **Schlussbericht**

## Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung .....	3
2	Voraussetzungen zur Vorhabensdurchführung.....	3
3	Planung und Ablauf des Vorhabens.....	4
4	Wissenschaftlicher und technischer Stand .....	4
5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen .....	6
6	Verwendung der Zuwendung und zahlenmäßiger Nachweis.....	6
7	Projektergebnisse .....	6
7.1	Überblick.....	6
7.2	Neue Regelwerke für den Entwurf von Holzbrücken.....	7
7.2.1	Hinweise zum Entwurf (Anlage A).....	7
7.2.2	Musterstatiken (Anlage B) .....	8
7.2.3	Musterzeichnungen (Anlage C).....	8
7.3	Neue Regelwerke für die Bauausführung von Holzbrücken (Anlage D) .....	8
7.4	Neue Regelwerke für die Erhaltung von Holzbrücken.....	8
7.4.1	Musterhandbücher für Wartung und Prüfung von Holzbrücken (Anlagen E und F).....	8
7.4.2	Hinweise zur Objektbezogenen Schadensanalyse (OSA) an Holzbrücken (Anlage G) .	9
7.4.3	Ergänzungen zur Bauwerksprüfung von Holzbrücken .....	9
7.5	Ergebnisse des Holzfeuchtemonitorings (Anlage H).....	9
7.6	Zusammenfassung .....	10
8	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	10
9	Verwertbarkeit.....	11
10	Forschungsfortschritte durch andere Stellen.....	12
11	Veröffentlichungen.....	13

## 1 Aufgabenstellung

Im Brückenbau stehen umfangreiche Richtlinien für Stahlbeton-, Spannbeton-, Stahl- und Stahl-Beton-Verbundbrücken zur Verfügung. Für Brücken aus dem natürlichen Rohstoff Holz galt das bisher nicht. Für die materialgerechte Planung, den Bau, die Unterhaltung geschützter Holzbrücken und die Prüfung von Holzbrücken gab es bisher keine oder nur unzureichende Vorgaben. Damit bestand ein erheblicher Wettbewerbsnachteil für das Bauen von Brücken mit dem nachhaltigen Baustoff Holz. Die Forschungsarbeit sollte diesen Mangel beheben. Ziel war die Erarbeitung einheitlicher Richtlinien für den Entwurf, die Baudurchführung und die Erhaltung geschützter Holzbrücken in Anlehnung an die für die anderen Baustoffe anerkannten und eingeführten Regelwerke. Damit soll der verstärkte Einsatz des ökologischen und nachhaltigen Baustoffes Holz im Brückenbau unterstützt und ermöglicht werden.

## 2 Voraussetzungen zur Vorhabensdurchführung

Das Forschungsvorhaben „ProTimB“ wurde an der Fachhochschule Erfurt im Zeitraum vom 01. Mai 2016 bis 30. Juni 2019 durchgeführt. Die Forschung erfolgte im Rahmen des BMBF-Programms „Forschung an Fachhochschulen“ unter der Förderlinie „Forschung an Fachhochschulen mit Unternehmen (FHprofUnt)“.

Das Projekt wurde unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. Antje Simon im Forscherteam mit Prof. Dr.-Ing. Ralf Arndt, Dr.-Ing. Markus Jahreis und Johannes Koch, M.Eng., von der Fachhochschule Erfurt bearbeitet. Als studentische bzw. wissenschaftliche Hilfskräfte unterstützten Aileen Raffel, Manuela Plaschna, Josephine Bickmann, Lennart Bandus, Nils Jungklaus und Robin Brachmann die Forschungsarbeit.

Die Entwicklung der Richtlinien wurde begleitet von einer Arbeitsgruppe, der folgende Experten angehörten:

Jürgen Schaffitzel	Schaffitzel Holzindustrie GmbH + Co. KG, Schwäbisch-Hall
Josef Schmees	Schmees & Lühn Holz- und Stahl Ingenieurbau GmbH & Co.KG, Fresenburg
Jürgen Pohlmann	Grossmann Bau GmbH & Co. KG, Rosenheim
Dr.-Ing. Gerhard Setzpfandt	Setzpfandt Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG, Weimar
Dr.-Ing. Karl Kleinhanß	Qualitätsgemeinschaft Holzbrückenbau e. V., Frielzheim
Matthias Gerold	HARRER Ingenieure Gesellschaft beratender Ingenieure VBI mbh, Karlsruhe
Prof. Volker Schiermeyer	HSW-Ingenieure Schiermeyer · Wiesner GbR, Bad Oeynhausen
Dr.-Ing. Tobias Wiegand	Studiengemeinschaft Holzleimbau e. V.
Frank Miebach	Ingenieurbüro Miebach, Lohmar
Prof. Andreas Müller	Berner Fachhochschule, Biel (CH)
Dr.-Ing. Arnold Hemmert-Halswick	Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach
Michael Müller	Landesbetrieb Straßenbau NRW, Leverkusen
Prof. Dr.-Ing. Thomas Uibel	Fachhochschule Aachen

Für die Erarbeitung einzelner Kapitel der ETV-HolzBr wurden weitere Experten hinzugezogen:

Dr.-Ing. Thomas Baron, Bauhaus-Universität Weimar (Kapitel 2 – Holzschutz)  
Dr.-Ing. Andreas Burkert und Herr Thoralf Müller, Bundesanstalt für Materialforschung und Prüfung, Berlin (Kapitel 3 – Metallene Verbindungsmittel und Stahlteile)

Das Projekt wurde finanziert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen der Förderlinie „FHprofUnt“. Eine finanzielle Beteiligung leisteten die Firmen der Qualitätsgemeinschaft Holzbrückenbau e.V.: Schaffitzel Holzindustrie GmbH + Co. KG, Schmees & Lühn Holz- und Stahlingenieurbau GmbH und Grossmann Bau GmbH sowie das Ingenieurbüro Setzpfandt Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG. Den Geldgebern und den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses, die mit ihrer Expertise zum Gelingen des Forschungsprojektes beitrugen, sei an dieser Stelle für ihre fachliche und finanzielle Unterstützung sehr herzlich gedankt.

### **3 Planung und Ablauf des Vorhabens**

Das Forschungsvorhaben wurde für eine Projektlaufzeit vom 01.05.2016 bis zum 31.10.2018 bewilligt.

Das Forschungsprojekt beinhaltete folgende sieben Arbeitspakete, die durch Teilpakete weiter untergliedert waren:

- Arbeitspaket 1 – Entwurf
- Arbeitspaket 2 – Baudurchführung
- Arbeitspaket 3 – Erhaltung: Wartung
- Arbeitspaket 4 – Erhaltung: Prüfung
- Arbeitspaket 5 – Erhaltung: Holzfeuchtemonitoring an geschützten Holzbrücken
- Arbeitspaket 6 – Projekt begleitender Ausschuss
- Arbeitspaket 7 – Verwertung, Wissensvermittlung und Verbreitung der Forschungsergebnisse.

Um die Aussagekraft der Ergebnisse des Holzfeuchtemonitorings (Arbeitspaket 5) zu steigern und die Erkenntnisse auf der Basis von Messdaten aus zwei vollständigen Jahreszyklen ableiten zu können, wurde eine kostenneutrale Verlängerung der Projektlaufzeit bis zum 30.06.2019 beantragt und genehmigt.

### **4 Wissenschaftlicher und technischer Stand**

Holz zählt zu den ältesten Baustoffen der Menschheitsgeschichte. Jahrhunderte alte Holzbrücken, die noch heute genutzt werden, dokumentieren die Schönheit und das Potential des natürlichen Baustoffes und zeugen von regionaler Wertschöpfung. Im Zuge der industriellen Revolution wurde in den vergangenen Jahrhunderten der natürliche Baustoff Holz mehr und mehr von den als moderner und tragfähiger angesehenen Baustoffen Beton und Stahl zurückgedrängt. Zu Unrecht, wenn man die Vorteile des Baustoffes Holz betrachtet. Deutschland ist das Holzland Nr. 1 in Europa – mit 330 m<sup>3</sup> Holz/ha verfügt Deutschland über die größten Holzvorräte in Europa. Mit nachhaltiger Waldbewirtschaftung steht Holz als einziger nachwachsender Rohstoff auch künftig in ausreichenden Mengen als Baustoff zur Verfügung. Das High-Tech-Material Holz ist ein Plusenergieprodukt und verfügt über die beste CO<sub>2</sub>-Bilanz aller Baustoffe.

Durch die aktuelle Klimaschutzdebatte erfährt das Bauen mit Holz eine neue öffentliche Wertschätzung. Im Hochbau zeigen sich die positiven Auswirkungen durch steigende Marktanteile mit Holzbauquoten von über 18 % im Neubau. Im Brückenbau ist die Entwicklung hingegen weiter rückläufig. Seit es im Jahr 2008 in Nordrhein-Westfalen zu einem Einsturz einer Holzbrücke kam, werden in Deutschland kaum noch Holzbrücken gebaut. Dieser Schadensfall und zahlreiche schlecht geplante, unsachgemäß ausgeführte, ungeschützte Holzbrücken führten zu einem großen Imageschaden für den Holzbrückenbau.

Holz als Baumaterial für Brücken zu verwenden, ist eine Frage der Überzeugung, aber auch der Verantwortung. Die Negativbeispiele der vergangenen Jahre dürfen nicht dazu führen, den

Einsatz von Holz im Brückenbau zu verhindern. Sie müssen vielmehr zu verstärkten Forschungsanstrengungen führen, damit künftig nur noch richtig geplante und sorgfältig ausgeführte, dauerhafte, geschützte Holzbrücken entstehen. Das Forschungsprojekt fokussierte ausschließlich auf geschützte Holzbrücken, da nach aktuellem Stand der Technik ausschließlich geschützte Holztragwerke dauerhaft sind.

Eine Grundvoraussetzung für die Planung und den Bau von Tragwerken stellt die Bereitstellung technischer Regelwerke dar, die den aktuellen Stand der Wissenschaft und Technik abbilden. Ein Verzicht auf Regelungen eröffnet zwar einerseits unbegrenzte Möglichkeiten der Kreativität und bietet vielfältigen Gestaltungsspielraum. Andererseits ist die Gefahr gravierender Planungs- und Ausführungsfehler sehr groß. Kostenintensive Instandsetzungen oder Ersatzneubauten sind oft die Folge. Da Brücken meist von öffentlicher Hand finanziert werden, besteht ein hohes gesellschaftliches Interesse daran, diese Kosten zu minimieren. Ohne einheitliche Richtlinien ist der Planungs- und Ausführungsaufwand deutlich höher. Effektive Arbeitsweisen und gute wirtschaftliche Ergebnisse sind für die Ingenieurbüros und Baufirmen nicht realisierbar, wenn eigentlich standardisierbare Details und Lösungen für jedes Projekt neu entwickelt werden müssen.

Für den Brückenbau im Bereich der Bundesfernstraßen existiert daher ein umfangreiches Regelwerk, welches durch die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) erarbeitet und kontinuierlich fortgeschrieben wird. Der Entwurf, die Baudurchführung, die Erhaltung und Prüfung sind für Bauweisen in Beton, Stahl und Stahlverbund umfassend geregelt. Für den Bau von geschützten Brücken in Holzbauweise gibt es kein vergleichbares Regelwerk (Abbildung 1).

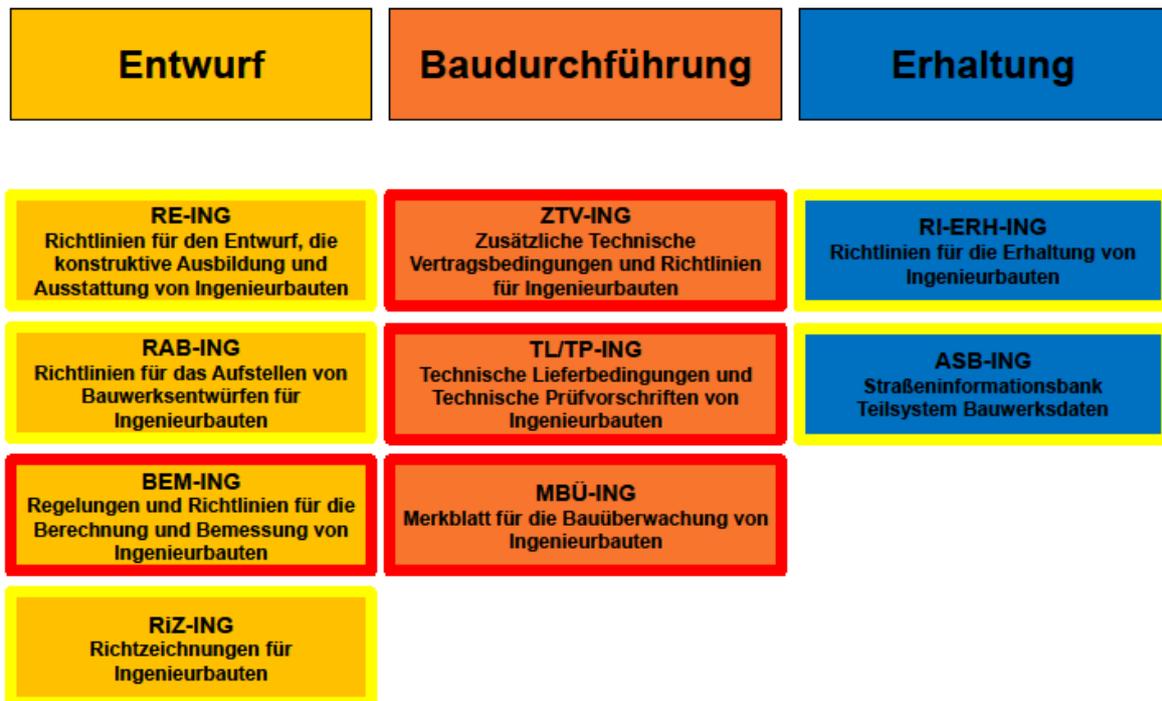


Abbildung 1: Übersicht der Regelwerke für den Brückenbau der Bundesfernstraßen mit farbiger Umrandung der für Holzbrücken anwendbaren Regelwerke (roter Rand: Holzbrücken nicht geregelt; gelber Rand: Holzbrücken unzureichend geregelt)

Bundesrechtliche Regelungen wurden und werden nicht getroffen, da Holzbrücken im Verantwortungsbereich des Bundes zu selten gebaut werden. Während der Flächenanteil der Holzbrücken an der Gesamtfläche der Brücken in Bundesfernstraßen weniger als 1 % beträgt, liegt ihr Stückzahlanteil auf kommunaler Ebene bei ca. 8 %. Die Erarbeitung einheitlicher Richtlinien

war daher sinnvoll und notwendig. Das zuständige Bundesministerium forderte die am Holzbrückenbau Interessierten auf, die Entwicklung entsprechender Richtlinien in Eigeninitiative zu übernehmen. Die Entwicklung der einheitlichen Richtlinien für Holzbrücken erfolgte in Anlehnung an das existierende Regelwerk des Bundes für die anderen Bauweisen unter Einbeziehung des aktuellen Standes der Wissenschaft und Technik auf dem Gebiet des Holzbrückenbaus.

Die hierbei verwendete Fachliteratur ist jeweils in den einzelnen Richtlinien angegeben (vgl. Anhänge).

## **5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Die Forschungsarbeit wurde im Rahmen des projektbegleitenden Ausschusses durch Experten aus planenden Ingenieurbüros, ausführenden Holzbaufirmen, wissenschaftlichen Einrichtungen und der Verwaltung sowie unter Einbeziehung der Qualitätsgemeinschaft Holzbrückenbau e. V. unterstützt. Der Ausschuss tagte einmal pro Jahr. Weitere Abstimmungen erfolgten in bilateralen Arbeitsgruppentreffen, z. B. mit Experten der Fachhochschulen Aachen und Biel, sowie in Telefonkonferenzen und im Umlaufverfahren. Damit konnten aktuelle Erkenntnisse aus der Praxis unmittelbar in den Forschungsprozess einfließen. Umgekehrt wurde durch diese enge Zusammenarbeit auch die unmittelbare, schnelle Verbreitung der Forschungsergebnisse in der Praxis ermöglicht.

Die Ergebnisse des Forschungsprojektes wurden und werden in regelmäßigen Abständen den Verantwortlichen und Entscheidungsträgern beim Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) und bei der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) vorgestellt. Der Informationsaustausch erfolgt mit dem Ziel, eine offizielle Anerkennung der neuen Richtlinien für Holzbrücken im Kontext des existierenden Regelwerkes für Ingenieurbauwerke zu erwirken.

## **6 Verwendung der Zuwendung und zahlenmäßiger Nachweis**

Die Zuwendung wurde gemäß den Vorgaben des Zuwendungsbescheides zweckgebunden, wirtschaftlich und sparsam verwendet.

## **7 Projektergebnisse**

### **7.1 Überblick**

Im Ergebnis der Forschungsarbeit entstand ein Kompendium technischer Regelwerke (download unter [www.fh-erfurt.de/bau/forschung/protimb/projektergebnisse/](http://www.fh-erfurt.de/bau/forschung/protimb/projektergebnisse/)), welches die für den Entwurf und die Baudurchführung geschützter Holzbrücken sowie die Erhaltung von Holzbrücken notwendigen Regelungen, basierend auf dem aktuellen Stand der Forschung, enthält (Abbildung 2). Die Richtlinien für den Entwurf beinhalten holzbrückenspezifische Hinweise zum Bauwerksentwurf, Musterstatiken sowie neue Musterzeichnungen für die materialgerechte Konstruktion dauerhafter Brücken. Für die Bauausführung wurden „Empfehlungen für Technische Vertragsbedingungen für Holzbrücken (ETV-HolzBr)“ erarbeitet. Für den Bereich der Erhaltung stehen ab sofort Musterhandbücher für die Wartung und Prüfung von Holzbrücken sowie Hinweise zur Durchführung einer objektbezogenen Schadensanalyse zur Verfügung. Ergänzungen im Programmsystem SIB-Bauwerke erleichtern künftig die Dokumentation der Ergebnisse der Prüfung von Holzbrücken. Zusätzlich zur Erarbeitung der neuen Regelwerke wurden Holzfeuchtemonitorings an neun geschützten Brücken über Gewässern durchgeführt und ausgewertet. Deren Ergebnisse sollen zu einer Überarbeitung der RI-EBW-PRÜF führen.



Abbildung 2: Übersicht der neuen Regelwerke für Holzbrücken in Anlehnung an die Regelwerke der BAST

Für den Neubau fokussierte das Forschungsprojekt in Übereinstimmung mit der aktuellen deutschen Normung ausschließlich auf geschützte Holzbrücken. Gemäß DIN EN 1995-2/NA gilt eine Holzbrücke als geschützt, wenn konstruktive Maßnahmen eine direkte Bewitterung oder einen Feuchteintrag wirksam verhindern. Für die Haupttragkonstruktion ist der konstruktive Schutz verpflichtend. Untergeordnete Bauteile dürfen ungeschützt ausgebildet werden. Die Einhaltung der Regeln zum konstruktiven Holzschutz sind eine notwendige Bedingung für die Erzielung einer hohen Dauerhaftigkeit von Holzbrücken.

Formell orientiert sich das Kompendium an den bestehenden Regelwerken des Bundes, um den Einsatz der Forschungsergebnisse in der Praxis zu erleichtern. Sämtliche neuen Regelwerke sind als Anlagen diesem Schlussbericht beigefügt.

## 7.2 Neue Regelwerke für den Entwurf von Holzbrücken

### 7.2.1 Hinweise zum Entwurf (Anlage A)

Beim Entwurf von Brücken sind in Deutschland die „Richtlinien für das Aufstellen von Bauwerksentwürfen für Ingenieurbauten (RAB-ING)“ zu beachten. Die RAB-ING besteht aus mehreren Unterlagen, die das zu erstellende Bauwerk detailliert anhand von Texten und Zeichnungen beschreiben. Beim Entwurf von Holzbrücken sind künftig die Unterlagen „Erläuterungsbericht“ und „Bauwerksplan“ der RAB-ING zu ergänzen. Die baulichen Schutzmaßnahmen für das Holz sind im Erläuterungsbericht detailliert zu beschreiben. Dazu gehört für jedes Holzbauteil die Angabe der Gebrauchsklasse nach DIN EN 335 bzw. DIN 68800-1 und der dafür notwendigen baulich-konstruktiven Schutzmaßnahmen. Weiterhin ist die einzusetzende Holzart unter Berücksichtigung der Dauerhaftigkeitsklasse nach DIN EN 350 festzulegen. Nur wenn durch Ausschöpfung aller baulichen Maßnahmen für ein Bauteil die erforderliche Dauerhaftigkeit nicht erzielt werden kann, kommt die Planung eines vorbeugenden chemischen Holzschutzes nach DIN 68800-3 in Betracht. Dabei sind die einzusetzenden Prüfprädikate, Wirkstoffe und Einbringverfahren zu benennen.

Um Fehler in Konstruktion oder Bauausführung frühzeitig zu erkennen, wird für neue Brücken zukünftig die Ausstattung mit einem Holzfeuchtemonitoringsystem empfohlen. Die kontinuierliche Überwachung der Holzfeuchte an den kritischen Stellen sollte mindestens über die ersten

zwei bis fünf Jahre der Standzeit erfolgen. Im Erläuterungsbericht sind das erforderliche Messequipment und die relevanten Messpunktbereiche detailliert zu beschreiben.

Als Bestandteil der Bauwerkspläne bereitet der Holzschutzplan, analog zum Korrosionsschutzplan für Stahlbrücken, die Zuordnung der Exposition, der Gebrauchsklasse und der daraus resultierenden Schutzmaßnahmen aller Holzbauteile grafisch auf.

### **7.2.2 Musterstatiken (Anlage B)**

Für die statische Berechnung von Brückenbauwerken aus Stahlbeton, Spannbeton und Stahlverbund stehen zahlreiche Musterlösungen zur Verfügung. Mit den Musterstatiken für eine einfache Deckbrücke und eine einfache Trogbrücke wurden vergleichbare Dokumente für den Holzbrückenbau erarbeitet. Die Musterstatiken beinhalten die Lastannahmen und ausführlichen statischen Nachweise basierend auf der aktuellen europäischen Normung. Den einzelnen Nachweisschritten unmittelbar zugeordnete Normenbezüge erleichtern das Verständnis und gestalten die statischen Berechnungen nachvollziehbar.

### **7.2.3 Musterzeichnungen (Anlage C)**

Da die Richtzeichnungen für Ingenieurbauwerke (RiZ-ING) nur in wenigen Fällen auf Holzbrücken anwendbar sind, wurde im Forschungsprojekt ProTimB mit den neuen Musterzeichnungen eine eigene Zeichnungslinie für geschützte Holzbrücken geschaffen. Die neuen Musterzeichnungen bauen auf den Musterzeichnungen der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung (DGfH) von 2006 und den Detailzeichnungen der Qualitätsgemeinschaft Holzbrückenbau e. V. (QHB) von 2012 auf, führen diese beiden Zeichnungslinien zusammen, aktualisieren und erweitern sie.

Die 36 neuen Musterzeichnungen zeigen konstruktive Details für den Entwurf von geschützten Holzbrücken. Sie stellen bewährte und dauerhafte Lösungen dar und geben den aktuellen Stand der Technik wieder. Strukturell und grafisch folgen die Musterzeichnungen dem Aufbau der RiZ-ING, um eine breite Akzeptanz bei den mit den Richtzeichnungen vertrauten Ingenieuren zu erzielen. Um denjenigen Planern, die nicht regelmäßig im Holzbrückenbau tätig sind, die Anwendbarkeit der Musterzeichnungen zu erleichtern, ist dem Zeichnungsteil ein erläuternder Textteil vorangestellt.

## **7.3 Neue Regelwerke für die Bauausführung von Holzbrücken (Anlage D)**

In Analogie zu den „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (ZTV-ING)“ wurden für die Bauausführung von Holzbrücken „Empfehlungen für Technische Vertragsbedingungen für Holzbrücken – ETV-HolzBr“ zusammengestellt. Die ETV-HolzBr gliedert sich in acht Abschnitte. Das Dokument regelt neben grundsätzlichen Anforderungen an das einzusetzende Material die Herstellung, Lagerung, Lieferung, Qualitätskontrolle und Montage der Bauteile. Weitere Schwerpunkte bilden die Zusammenstellung der erforderlichen Maßnahmen für den konstruktiven Holzschutz und den Korrosionsschutz der Stahlbauteile in Holzbrücken. Hinweise für die Ausführung von Holz-Beton-Verbundbrücken und von Grünbrücken aus Holz vervollständigen das Regelwerk.

## **7.4 Neue Regelwerke für die Erhaltung von Holzbrücken**

### **7.4.1 Musterhandbücher für Wartung und Prüfung von Holzbrücken (Anlagen E und F)**

Der baulich-konstruktive Holzschutz ist eine notwendige Voraussetzung, um die Aufweichung des Tragwerkes und einen biogenen Befall dauerhaft zu verhindern. Aber allein ist er nicht ausreichend. Nur in Kombination mit einer regelmäßigen Wartung kann die angestrebte Nut-

zungsdauer von mindestens 60 Jahren erreicht werden. Zur Kostenminimierung sind Holzbrücken daher generell wartungsarm bzw. wartungsfreundlich zu planen. Die wichtigsten Maßnahmen sind in einem Muster-Wartungshandbuch für Holzbrücken zusammengefasst. Für jede neue Holzbrücke sollte zukünftig ein Wartungshandbuch, abgeleitet von dem Musterhandbuch, erstellt werden. Aber auch für bestehende Bauwerke kann es nachträglich ergänzend in die Bauwerksakte aufgenommen werden.

Neben dem Musterhandbuch für die Wartung wurde für besondere Holzbrücken ein Muster-Prüfhandbuch entwickelt. Als besondere Holzbrücken gelten z. B. Grünbrücken sowie Fachwerk- und Schrägseilbrücken mit großen Spannweiten. Das Prüfhandbuch enthält als ergänzendes Hilfsmittel zur DIN 1076 spezielle Prüfhinweise, organisatorische und fachliche Anweisungen sowie Maßnahmen zur Verkehrssicherung. Es dient dem Prüfer zur Optimierung der Planung und Durchführung der Brückenprüfung unter Berücksichtigung der bauwerksspezifischen Besonderheiten. Im Prüfhandbuch sind alle erforderlichen Maßnahmen für die Bauwerksprüfung detailliert textlich und tabellarisch beschrieben. Einfache Checklisten erleichtern die Bauwerksüberwachung.

Die Musterhandbücher für Wartung und Prüfung sind als Anlagen zum Bauwerksbuch konzipiert. Für beide Handbücher wurden spezielle Anwendungsbeispiele erarbeitet. Die Musterhandbücher und Anwendungsbeispiele wurden mit dem BMVI und der BASt abgestimmt und sind auch über die Internetseite der BASt verfügbar.

#### **7.4.2 Hinweise zur Objektbezogenen Schadensanalyse (OSA) an Holzbrücken (Anlage G)**

Für den Fall, dass komplexe Schäden unklarer Ursache oder unklaren Ausmaßes an einer Holzbrücke zu beurteilen sind, wurden „Hinweise zur Durchführung einer Objektbezogenen Schadensanalyse für Holzbrücken“ erarbeitet.

#### **7.4.3 Ergänzungen zur Bauwerksprüfung von Holzbrücken**

Die korrekte Prüfung von Holzbrücken erfordert hohes Fachwissen über den anisotropen, organischen Baustoff Holz und besondere praktische Erfahrungen. Das Bauwerksprüfpersonal ist mit den speziellen Anforderungen bei der Prüfung von Holzbrücken häufig nicht vertraut. Die vergleichsweise geringe Zahl zu prüfender Holzbrücken führte zur Vernachlässigung der theoretischen Ausbildung und reicht nicht, um Praxiserfahrungen beim Prüfen von Holzbrücken zu sammeln. Um die Ingenieure der Bauwerksprüfung mit den Besonderheiten bei der Prüfung von Holzbrücken vertraut zu machen, wurde ein Aufbaulehrgang für die Ausbildung des Bauwerksprüfpersonals im Rahmen der zertifizierten Fortbildungslehrgänge des vfib (Verein zur Förderung der Qualitätssicherung und Zertifizierung der Aus- und Fortbildung von Ingenieurinnen/Ingenieuren der Bauwerksprüfung) konzipiert. Auf der Grundlage des eingereichten Konzeptes werden künftig zweitägige Lehrgänge am Schulungsstandort Lauterbach durchgeführt werden.

Zur Verbesserung der Dokumentation der Ergebnisse der Bauwerksprüfung wurden außerdem Hinweise an die Fachgruppe ASB-ING übergeben. Diese Anmerkungen werden in die nächste Version des Regelwerkes aufgenommen, wodurch die Erfassung und Bewertung der Prüfung von Ingenieurbauwerken aus Holz mit der nächsten Version des Programmsystems SIB-Bauwerke verbessert wird.

### **7.5 Ergebnisse des Holzfeuchtemonitorings (Anlage H)**

Im Rahmen von ProTimB wurden Holzfeuchtemonitorings an geschützten Holzbrücken über Gewässern in Deutschland über einen Zeitraum von zweieinhalb Jahren durchgeführt. In das Programm waren neun geschützte Holzbrücken verschiedener Bauarten und verschiedener lokaler Standortbedingungen einbezogen. Die Messung der Holzfeuchte erfolgte jeweils über

dem Gewässer und in der Nähe der Widerlager (Vorlandbereich) in verschiedenen Querschnittstiefen von 2 – 12 cm. Die Elektroden bestanden aus teilisolierten Edelstahlschrauben. Das verwendete Messequipment ermöglichte neben der Aufzeichnung, Speicherung und turnusmäßigen Fernübertragung der Feuchtemessdaten auch die Dokumentation der standortnahen Klimadaten (Temperatur und relative Luftfeuchte). Dadurch konnte bei der Auswertung der Messdaten auch der Zusammenhang zwischen lokalem Kleinklima und der Holzfeuchteentwicklung über den Querschnitt analysiert werden.

Im Messzeitraum wurden an acht der neun Brücken sowohl im Bereich über dem Vorland als auch über dem Gewässer mittlere Holzfeuchtwerte zwischen 15,7 und 18,1 M% aufgezeichnet. Diese Holzfeuchtwerte unter 20 M% sind im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit der Brücken grundsätzlich positiv zu bewerten, ein Pilzwachstum ist unter diesen Bedingungen nicht zu erwarten. Die Ergebnisse zeigen, dass die Forderung der RI-EBW-PRÜF nach einer jährlichen Hauptprüfung für geschützte Holzbrücken im Bereich von Gewässern nicht gerechtfertigt ist und aufgehoben werden sollte.

An zwei Brücken wurden während des Monitorings kritische Holzfeuchtwerte oberhalb der Fasersättigung festgestellt. Ursachen waren eine undichte Fahrbahnübergangskonstruktion und eine standortspezifisch besondere, windinduzierte Feuchteexposition. In beiden Fällen wurden die Bauherren umgehend über die detektierten Feuchteinträge informiert. So konnten zeitnah Reparaturen bzw. eine Erweiterung der konstruktiven Holzschutzmaßnahmen vorgenommen werden, die eine weitere Auffeuchtung der Tragkonstruktion und gravierende Folgeschäden wirksam verhinderten. Die Bedeutung und Sinnhaftigkeit von Feuchtemonitoringsystemen für Holzbrücken wurde damit belegt.

## 7.6 Zusammenfassung

Im Rahmen des Forschungsprojektes ProTimB wurden an der Fachhochschule Erfurt erstmals einheitliche Richtlinien für den Entwurf, die Baudurchführung und die Erhaltung geschützter Holzbrücken erarbeitet (download unter [www.fh-erfurt.de/bau/forschung/protimb/projektergebnisse/](http://www.fh-erfurt.de/bau/forschung/protimb/projektergebnisse/)). Damit liegen die notwendigen Grundlagen für die Errichtung dauerhafter, ästhetischer Holzbrücken auf der Basis des aktuellen Standes der Wissenschaft und Technik vor. Sämtliche neuen Richtlinien für Holzbrücken orientieren sich an den Richtlinien der BAST, die für Stahlbeton-, Stahl- und Verbundbrücken den aktuellen Stand der Technik dokumentieren, allgemein anerkannt und eingeführt sind. Damit wird eine hohe Akzeptanz bei den Planern und Bauausführenden erwartet als Voraussetzung für eine schnelle Einführung und Anwendung der neuen Regelwerke in der Praxis. Die Forschungsergebnisse tragen dazu bei, den Wettbewerbsnachteil für den ökologischen und nachhaltigen Baustoff Holz, der sich aus dem bisherigen Fehlen vergleichbarer Richtlinien für den Holzbrückenbau ergab, aufzuheben. Bei konsequenter Anwendung wird Holz auch im Infrastrukturbau eine Renaissance erleben.

## 8 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Umsetzung des Forschungsvorhabens erfolgte anhand der im Antrag vorgestellten Projektplanung. Die Projektergebnisse wurden durch zielgerichtete Bearbeitung der unter Abschnitt 3 aufgelisteten Arbeitspakete erreicht. Jedes der geplanten Arbeitspakete wurde erfolgreich abgeschlossen, die entwickelten Richtlinien und Empfehlungen sind im Anhang aufgeführt. Für die erfolgreiche Bearbeitung war die interdisziplinäre Zusammenarbeit der beiden beteiligten Professuren für Ingenieurholzbau und Baustoffkunde/Bauwerksdiagnostik mit den Experten des projektbegleitenden Ausschusses maßgeblich. Die Beschäftigung von zwei wissenschaftlichen Mitarbeitern und mehreren studentischen bzw. wissenschaftlichen Hilfskräften war notwendig, um die umfangreichen theoretischen Teilaufgaben zu bearbeiten und parallel die in-situ-Versuche an neun Holzbrücken in Deutschland zu planen, durchzuführen, zu überwachen und auszuwerten.

Die von den Fördergeldgebern zur Verfügung gestellten finanziellen Mittel wurden wirtschaftlich und zielgerichtet zur Erreichung der Forschungsergebnisse eingesetzt. Die geleistete Arbeit war notwendig und angemessen zur Erreichung des Forschungszieles.

## 9 Verwertbarkeit

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens werden sowohl auf wirtschaftlicher als auch auf wissenschaftlicher Ebene verwertet. Die erarbeiteten Richtlinien für den Entwurf, den Bau und die Erhaltung geschützter Holzbrücken verbessern die derzeitige Situation im Holzbrückenbau grundlegend. Durch die anwenderfreundliche Aufbereitung und eine zielorientierte Vermarktung können die Forschungsergebnisse unmittelbar, zeitnah und vollständig von der Praxis genutzt werden.

In jährlichen Arbeitsgesprächen mit den Entscheidungsträgern des BMVI und der BAST stellt die Projektleiterin seit 2017 die Forschungsergebnisse zur Diskussion. Diese Gespräche erfolgen mit dem Ziel, perspektivisch eine offizielle Anerkennung des neuen Regelwerkes auf Bundesebene verbunden mit einer höheren Anwendungsverbindlichkeit zu erwirken.

Die Verbreitung der Forschungsergebnisse erfolgte und erfolgt durch Veröffentlichungen im Internet, in Fachzeitschriften (z. B. bauen mit Holz, Bautechnik), durch Vorträge bei Fachtagungen und Konferenzen und durch Integration in die Lehrinhalte des Bauingenieurstudiums an den Fachhochschulen Erfurt und Eberswalde sowie an der Bauhaus-Universität Weimar.

Auf der Internetseite der Fachhochschule Erfurt stehen unter <http://www.fh-erfurt.de/bau/forschung/protimb/> alle Ergebnisse des Forschungsprojektes zum kostenlosen Download zur Verfügung. Weiterhin ist eine Übersicht über die nationalen und internationalen Publikationen angegeben. Daneben werden die Forschungsergebnisse über die Internetseiten der Qualitätsgemeinschaft Holzbrückenbau und des Informationsvereins Holz sowie teilweise über die Internetseiten der BAST verbreitet. Die beiden Holzbauportale sind anerkannte und eingeführte Informationsquellen für die im Holzbau tätigen Planer und Bauausführenden, die BAST-Seiten werden von allen Brückenplanern genutzt. Damit wird eine unmittelbare Anwendung der neuen Erkenntnisse ermöglicht. Durch die direkt in das Forschungsprojekt involvierten Praxispartner ist eine schnelle Verbreitung der Forschungsergebnisse ebenfalls gesichert.

Die umfangreichen Veröffentlichungen sind im Abschnitt 11 aufgelistet. Im Rahmen von Vorträgen auf verschiedenen Konferenzen und Tagungen in Deutschland, Europa und Amerika wurden die Projektergebnisse den planenden Ingenieuren, ausführenden Firmen, Wissenschaftlern und den Vertretern der öffentlichen Hand vorgestellt. Zu den wichtigsten Konferenzen zählten:

- 4. und 5. Internationale Holzbrückentage Stuttgart 2016 und 2018
- World Conference on Timber Engineering, Vienna, Austria, 08/2016
- Annual Meeting Transportation Research Board, Committee "Field Testing and Non-destructive Evaluation (NDE) of Transportation Structures" (Aff 40), 01/2017, Washington DC, USA
- International Association for Bridge and Structural Engineering Young Engineers Colloquium, Bochum, 03/2017
- 3rd International Conference on Timber Bridges, Skelefteå Sweden 2017
- Fachtagung Bauwerksdiagnose 2018: Praktische Anwendungen Zerstörungsfreier Prüfungen und Zukunftsaufgaben, Berlin 2018
- Doktorandenkolloquium Holzbau Forschung und Praxis 2018, Stuttgart 2018

- Konferenz „Geh- und Radwegbrücken in Holzbauweise - Erfahrungsaustausch und Perspektiven“, Fachhochschule Aachen 03/2018
- ProHolzBW - Brückenbausymposium 2018 mit Verleihung Publikumspreis HolzPro-Klima, Neckartenzlingen 2018
- NDE/NDT Structural Materials Technology for Highways and Bridges (SMT) and the International Symposium on Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE), US-New Brunswick, 08/2018
- Erfahrungsaustausch des Bauwerksprüfpersonals - 26. Zusammenkunft der Ingenieurinnen/Ingenieure der Bauwerksprüfung, Koblenz, 09/2018
- Fachgespräch Holzbrücken in der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach, 09/2018
- Modulare Fortbildung für Bauingenieure der Landesverwaltung Mecklenburg-Vorpommern an der FH Güstrow, 03 und 10/2019
- 5. KWF-Thementage 2019, Walderschließung heute, Neue Wege zur Logistik im Forst, Richberg Hessen, 06/2019

Verschiedene Aspekte des Forschungsprojektes, insbesondere der Einsatz des nachhaltigen Baustoffes Holz im Ingenieurbau, wurden in die Masterausbildung an der Fachhochschule Erfurt und an der Bauhaus-Universität Weimar integriert. Auf der Basis der Forschungsergebnisse entstand ein Modul „Holzbrückenbau“, welches an beiden wissenschaftlichen Einrichtungen angeboten wird. Um das Wissen bei den Studierenden zu vertiefen, wurden außerdem studentische Projektarbeiten sowie sieben Bachelor- und sechs Masterarbeiten durchgeführt. Eine dieser Bachelorarbeiten erhielt den Förderpreis des Bildungswerkes BAU Hessen-Thüringen. Aufbauend auf die Forschung im Projekt ProTimB ist zudem die Erarbeitung einer wissenschaftlichen Promotion geplant.

Im Ergebnis der intensiven Vortragstätigkeit konnten für den Bereich der Bauwerkserhaltung Verbesserungen für die Dokumentation von Holzbrücken im Programmsystem SIB-Bauwerke bei der zuständigen Arbeitsgruppe der ASB-ING erreicht werden. Weiterhin wurde ein zweitägiger Aufbaukurs „Prüfung von Holzbrücken“ für Ingenieure der Bauwerksprüfung im Rahmen der zertifizierten vfib-Ausbildung konzipiert. Dieser Kurs wird ab Mai 2020 halbjährlich am Ausbildungsstandort Lauterbach angeboten.

Einen weiteren wesentlichen Erfolg stellt die Berücksichtigung der Forschungsergebnisse bei der Erarbeitung der neuen europäischen und nationalen Normen zum Holzbrückenbau EN 1995-2 und DIN EN 1995-2/NA dar. Durch die Mitarbeit der Projektleiterin in beiden Normungsgremien fließen die Projektergebnisse unmittelbar in den aktuell laufenden Normungsprozess ein.

Die wissenschaftliche Anschlussfähigkeit ist gegeben. Anknüpfungspunkte für weiterführende Forschungsarbeiten bestehen z. B. im Hinblick auf die Bemessung sowie die Entwicklung und Adaption zerstörungsfreier Prüfverfahren für Holzbrücken.

## 10 Forschungsfortschritte durch andere Stellen

Während der Durchführung des Projektes wurden nach Kenntnis der Projektleitung zwei weitere Forschungsprojekte in Deutschland bearbeitet, die ebenfalls auf eine Verbesserung der Wettbewerbssituation für Holzbrücken durch die Bereitstellung geeigneter Fachliteratur und die Dokumentation von Musterbrücken abzielen.

Durch den Informationsverein Holz wurde in Zusammenarbeit mit dem Ingenieurbüro Miebach und der Qualitätsgemeinschaft Holzbrückenbau das Projekt „Offensive Holzbrückenbau“ initiiert. Im Februar 2019 erschienen vier aufeinander abgestimmte Veröffentlichungen, die sich dem Entwurf, der Tragwerksplanung und ausgeführten Beispielbrücken widmen. Durch die enge Zusammenarbeit mit dem Ingenieurbüro Miebach und der Qualitätsgemeinschaft Holzbrückenbau wurde die Verbreitung der neuen Musterzeichnungen als gedruckte Broschüre über dieses Projekt möglich.

Mit der Entwicklung einer nachhaltigen Standardbrücke in Holzbauweise beschäftigt sich ein Forscherteam der Fachhochschule Aachen. Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines langlebigen, standardisierten Holzbrückentyps, der wirtschaftlich erstellt und unterhalten werden kann. Im Ergebnis dieser Forschungsarbeit sollen für die Musterbrücke Standardzeichnungen, eine Musterstatik, eine Ausschreibungsvorlage und Wartungsempfehlungen entstehen. Da dieses Forschungsvorhaben in mehreren Arbeitspaketen ähnliche Schwerpunkte wie ProTimB aufweist, entschieden sich die Projektleiter zu einer engen Zusammenarbeit. In mehreren Projektsitzungen wurden Zwischenergebnisse diskutiert und abgestimmt. Zudem initiierten die beiden Fachhochschulen gemeinsam eine Umfrage unter den 50 einwohnerstärksten und den 15 flächengrößten Kommunen Deutschlands. Ziel der Umfrage war es, Daten zur Bauartenverteilung von Brücken auf kommunaler Ebene zu erfassen sowie eine Marktanalyse für den Holzbrückenbau durchzuführen. Mit einem Stückzahlanteil von ca. 8 % werden im kommunalen Verwaltungsbereich deutlich mehr Holzbrücken unterhalten als im Bundesfernstraßennetz. Da Kommunen nicht über die notwendigen strukturellen und finanziellen Rahmenbedingungen zur Entwicklung von Richtlinien verfügen, begründete sich einmal mehr die Notwendigkeit der Richtlinienentwicklung im Rahmen des Forschungsprojektes ProTimB.

Auf europäischer Ebene spiegelt sich die Forschung zur Bereitstellung der fachlichen Grundlagen für den Holzbrückenbau vor allem in der aktuellen Normungsarbeit am Eurocode 5-2 wider. Durch die aktive Mitarbeit der Projektleiterin im deutschen und europäischen Normungsgremium für Holzbrücken konnten die Ergebnisse des Forschungsprojektes unmittelbar in die Normungsarbeit einfließen.

## 11 Veröffentlichungen

Im Folgenden sind alle bisher publizierten Veröffentlichung der Forschungsergebnisse, geordnet nach Veröffentlichungsdatum, aufgeführt:

- Koch, Johannes; Simon, Antje; Jahreis, Markus; Arndt, Ralf W. (geplant 2020): Zur materialgerechten Wartung und Prüfung von Holzbrücken. Bautechnik zur Veröffentlichung angenommen
- Simon, Antje; Jahreis, Markus; Koch, Johannes; Arndt, Ralf W. (2020): Moderne Holzbrücken planen, bauen, erhalten - Teil 1: Bauwerksentwurf. Bautechnik 97 (2020), Heft 02, Ernst & Sohn, Berlin
- Simon, Antje; Koch, Johannes; Jahreis, Markus; Arndt, Ralf W. (2020): Moderne Holzbrücken planen, bauen, erhalten - Teil 2: Bauausführung und Erhaltung. Bautechnik 97 (2020), Heft 02, Ernst & Sohn, Berlin
- Qualitätsgemeinschaft Holzbrückenbau (Hrsg.): Simon, Antje; Jahreis, Markus; Koch, Johannes; Arndt, Ralf W.: Musterzeichnungen für Holzbrücken. Informationsdienst Holz. holzbau handbuch. Reihe 1 Teil 9 Folge 3, Februar 2019
- Simon, A.; Koch, J.; Jahreis, M.: Holz für Ingenieur- und Infrastrukturbauwerke. Poster InnoCon Thüringen, Erfurt 27.11.2018

- Simon, A.: Neue Handbücher für eine zielgerichtete Wartung und effiziente Prüfung von Holzbrücken. In: Erfahrungsaustausch des Bauwerksprüfpersonals - 26. Zusammenkunft der Ingenieurinnen/Ingenieure der Bauwerksprüfung, DE-Koblenz, 2018.
- Arndt, R. W.; Koch, J.; Simon, A.; Jahreis, M.: ProTimB - Monitoring of structurally protected timber bridges. In: NDE/NDT Structural Materials Technology for Highways and Bridges (SMT) and the International Symposium on Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE), US-New Brunswick, 2018.
- Simon, A.: ProTimB - neue Regelwerke für den modernen Holzbrückenbau - eine Zwischenbilanz. In: 5. Internationale Holzbrückentage, DE-Stuttgart, 2018.
- Koch, J.; Simon, A.: Untersuchung der langfristigen Holzfeuchteentwicklung an geschützten Holzbrücken, 105-112. In: Holzbau Forschung und Praxis 2018,
- Koch, J.; Arndt, R. W.; Simon, A.; Jahreis, M.: ProTimB - Monitoring von konstruktiv geschützten Holzbrücken. In: DGZfP (Hrsg.): Fachtagung Bauwerksdiagnose 2018: Praktische Anwendungen Zerstörungsfreier Prüfungen und Zukunftsaufgaben, 2018
- Koch, J.; Arndt, R. W.; Simon, A.; Jahreis, M.: Moisture monitoring of nine protected timber bridges in Germany. In: Research Institutes of Sweden (Hrsg.): 3rd ICTB, 2017
- Simon, A.; Jahreis, M.; Koch, J.; Arndt, R. W.: New design guidelines for structural protected timber bridges. In: Research Institutes of Sweden (Hrsg.): 3rd International Conference on Timber Bridges, 2017
- Simon, A.; Koch, J.; Jahreis, M.: Untersuchungen zur Holzfeuchteentwicklung an geschützten Holzbrücken. In: Institut für Konstruktion und Entwurf, Universität Stuttgart (Hrsg.): Stahlbau, Holzbau und Verbundbau: Festschrift zum 60. Geburtstag von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ulrike Kuhlmann. Berlin: Ernst & Sohn, 2017
- Koch, J.: Moisture monitoring of protected timber bridges. International Association for Bridge and Structural Engineering Young Engineers Colloquium, Bochum, 31.03.2017
- Franke, B.; Müller, A.; Simon, A.: Holzbrücken – Erkenntnisse zum Feuchteverhalten in den Tragquerschnitten aus Langzeitmessungen. Bautechnik 93 (2016), Heft 11. S. 801 – 806. Ernst & Sohn, Berlin
- Simon, A.: "Holz kann ... mehr!". Editorial, Bautechnik 93 (2016) Heft 11. Ernst & Sohn, Berlin
- Simon, A.; Koch, J.: The new generation of timber bridges – durable by protection. World Conference on Timber Engineering, August 2016, Vienna
- Koch, J.; Simon, A.; Arndt, R.: Monitoring of moisture content of protected timber bridges. World Conference on Timber Engineering, August 2016, Vienna
- Simon, A.: ProTimB – neue Regelwerke für den modernen Holzbrückenbau. 4. Internationale Holzbrückentage IHB 2016, Stuttgart, 08. 06.2016

## **Anlagen: Dokumentation der Projektergebnisse:**

- A Hinweise zum Entwurf
- B Musterstatik
- C Musterzeichnungen
- D Empfehlungen für Technische Vertragsbedingungen für Holzbrücken
- E Musterwartungshandbuch
- F Musterprüfhandbuch
- G Hinweise zur Objektbezogenen Schadensanalyse (OSA) an Holzbrücken
- H Auswertung Monitoring