



# 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 Stahl Ingenieurbau 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).

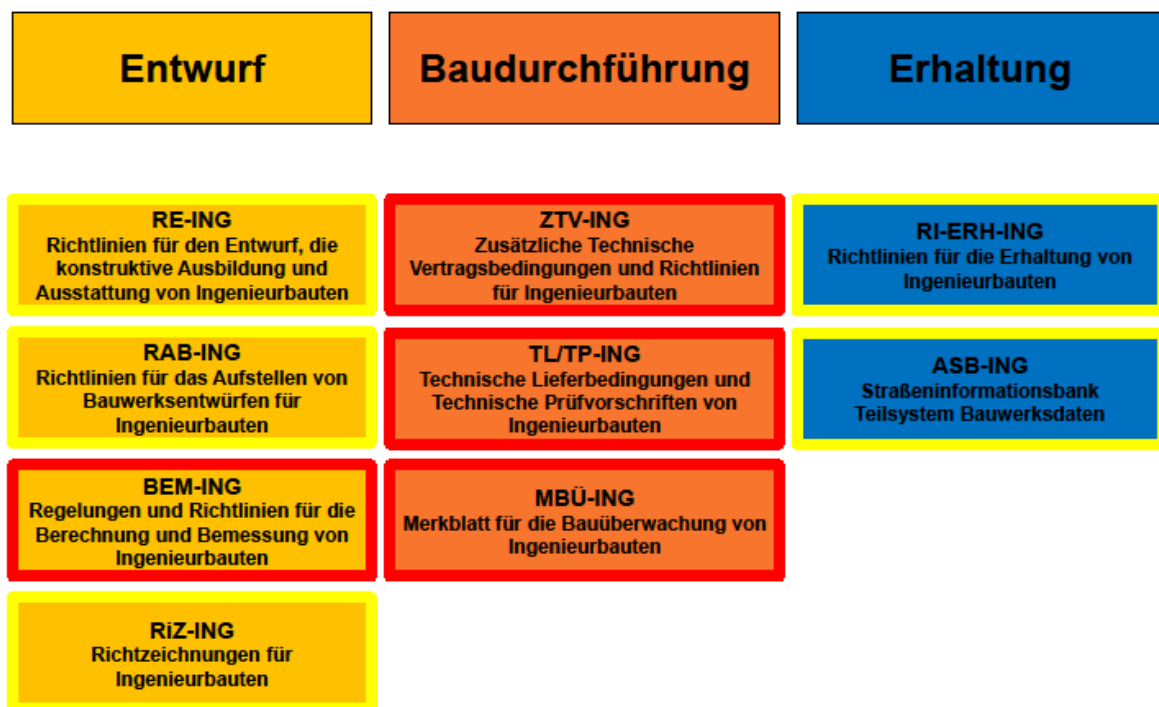


Abbildung 1: Übersicht der Regelwerke für den Brückenbau der Bundesfernstraßen mit farbiger Umrandung der für Holzbrücken anwendbaren Regelwerke (roter Rand: Holzbrücken nicht geregelt; gelber Rand: Holzbrücken unzureichend geregelt)

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 erreichten 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

# **Anlage A**

## **Hinweise zum Entwurf**



## Hinweise zum Entwurf von Holzbrücken

### Verfasser

Die Erarbeitung der „Hinweise zum Entwurf von Holzbrücken“ erfolgte im Rahmen des Forschungsprojektes „Entwicklung einheitlicher Richtlinien für den Entwurf, den Bau, die Überwachung und Prüfung geschützter Holzbrücken – Protected Timber Bridges (ProTimB)“. Das Projekt wurde finanziert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung, den Firmen der Qualitätsgemeinschaft Holzbrückenbau e.V. und dem Ingenieurbüro Setzpfandt Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG.

Projektleitung und Forscherteam:

Prof. Dr.-Ing. Antje Simon	Fachhochschule Erfurt
Prof. Dr.-Ing. Ralf Arndt	Fachhochschule Erfurt
Dr.-Ing. Markus Jahreis	Fachhochschule Erfurt
Johannes Koch	Fachhochschule Erfurt

Die Erarbeitung der „Hinweise zum Entwurf von Holzbrücken“ wurde begleitet von einer Arbeitsgruppe, der folgende Experten angehörten:

Jürgen Schaffitzel	Schaffitzel Holzindustrie GmbH + Co. KG, Schwäbisch Hall
Josef Schmees	Schmees & Lühn Holz- und Stahlingenieurbau 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

# 1 Ergänzungen zum Bauwerksentwurf nach RAB-Ing

## 1.1 Einordnung

Beim Entwurf von Ingenieurbauwerken an Bundesfernstraßen sind in Deutschland die „Richtlinien für das Aufstellen von Bauwerksentwürfen für Ingenieurbauten (RAB-ING)“ [1] zu beachten. Dieses Dokument regelt Form und Inhalt der Entwurfsunterlagen. Im Bauwerksentwurf sind alle wesentlichen Gesichtspunkte der Baumaßnahme anhand der folgenden Unterlagen zu beschreiben:

Unterlage	Inhalt
1	Erläuterungsbericht
2	Übersichtskarte
3	Kostenberechnung
4	Straßenquerschnitt
5	Lageplan
6	Höhenplan
7	Geotechnische Untersuchungen, Gutachten, Berichte, Dokumentationen, Bauablaufplan
8	Bauwerksplan
9	Entwurfsstatik

Für den Entwurf einer Holzbrücke sind zur Beschreibung der baulich-konstruktiven Holzschutzmaßnahmen Ergänzungen im Erläuterungsbericht (Unterlage 1) und im Bauwerksplan (Unterlage 8) vorzunehmen. Diese Ergänzungen werden im Folgenden beschrieben.

## 1.2 Ergänzung zum Erläuterungsbericht

Der Erläuterungsbericht nach RAB-ING, Teil 2, Abschnitt 1 ist für den Entwurf von Holzbrücken um ein neues Kapitel „4.6 Holzschutz, Holzfeuchteüberwachung“ zu ergänzen. Darin sind die baulich-konstruktiven Schutzmaßnahmen für das Holz und vorgesehene Maßnahmen zur Kontrolle der Holzfeuchte detailliert zu beschreiben.

Für jedes Holzbauteil ist die Zuordnung in eine Gebrauchsklasse (GK) nach DIN EN 335 [2] bzw. DIN 68800 Teil 1 [3] vorzunehmen. Darauf aufbauend sind die vorgesehenen Maßnahmen des konstruktiven Holzschutzes (in Anlehnung an DIN 68800 Teil 2 [4], DIN EN 1995-2/NA [5] und die Musterzeichnungen für Holzbrücken [6]) zu erläutern. Insbesondere ist anzugeben, durch welche baulich-konstruktiven Maßnahmen eine Einordnung in die GK 0 erreicht werden kann. Die Schutzmaßnahmen müssen dauerhaft wirksam sein, auf deren Kontrolle und die regelmäßige Wartung ist im Erläuterungsbericht hinzuweisen. Für jedes Holzbauteil sind die gewählte Holzart und deren Dauerhaftigkeitsklasse (DHK) nach DIN EN 350 [7] zu benennen (Tabelle 1). Nur wenn mit allen zur Verfügung stehenden baulich-konstruktiven Schutzmaßnahmen und geeigneter Holz Auswahl kein ausreichender Holzschutz erzielt werden kann, ist ein vorbeugender chemischer Holzschutz nach DIN 68800 Teil 3 [8] zu planen. In diesem Fall sind die Prüfprädikate, Wirkstoffe und Einbringverfahren zu benennen.

Für die Dauerhaftigkeit von Holzbrücken ist die Überwachung der Holzfeuchte von entscheidender Bedeutung. Im Erläuterungsbericht ist anzugeben, ob die Kontrolle der Holzfeuchte im Rahmen der Bauwerksüberwachung bzw. Bauwerksprüfung erfolgen soll oder zusätzlich ein Holzfeuchtemonitoring eingesetzt wird. Sofern ein Holzfeuchtemonitoring vorgesehen ist, sind Messverfahren, Gesamtbetriebsdauer, Lage und Anzahl der Messpunkte, Messtiefen, Anordnung der Messgeräte, Stromversorgung und das vorgesehene Verfahren zur Datenübertragung detailliert zu beschreiben sowie die Zuständigkeit für die Datenauswertung festzulegen.

### 1.3 Ergänzungen zum Bauwerksplan

In Ergänzung zu RAB-ING, Abschnitt 4, Teil 1 ist der Unterlage 8 (Bauwerksplan) ein Holzschutzplan beizufügen (analog zum Korrosionsschutzplan für Stahlbrücken). Darin sind für sämtliche Holzbauteile die Gebrauchsklassen und Holzarten anzugeben sowie die Maßnahmen des konstruktiven Holzschutzes darzustellen. Sofern ein Holzfeuchte-Monitoring vorgesehen ist, sind Lage und Anzahl der Messpunkte, Messtiefen und Anordnung der Messgeräte anzugeben.

### 1.4 Musterbeispiel

#### 1.4.1 Ergänzung zum Erläuterungsbericht

Im Folgenden wird am Beispiel einer Bogenbrücke mit einer Fahrbahnplatte als Holz-Beton-Verbundkonstruktion der in Bezug auf den Holzschutz erforderliche Inhalt im Erläuterungsbericht dargestellt:

#### 4.6 Holzschutz, Holzfeuchteüberwachung

Wesentliche Teile der Haupttragkonstruktion des Überbaus (Längsträger, Bogenbinder und Zangenträger) sowie die Geländer der Brücke bestehen aus Holz.

Die Längsträger werden aus kammergetrockneter und zu Brettschichtholz (BSH) verklebter europäischer Fichte hergestellt. Die Oberflächen der Längsträger sind gehobelt und von drei Seiten kontrollierbar. Die Fahrbahnplatte aus Beton bietet den Längsträgern konstruktiven Schutz vor direkter Bewitterung. Im Auflagerbereich gewährleistet der wasserdichte Fahrbahnübergang nach Übe1 den Schutz vor Feuchtezutritt. Zusätzlich erhalten die Hirnholzenden aller Längsträger eine Hirnholzschutzbeschichtung. Aufgrund ihrer Exposition sind die Längsträger je nach Holzfeuchteentwicklung der Gebrauchsklasse (GK) 1 bzw. 2 zuzuordnen. Mit den genannten Schutzmaßnahmen (technische Trocknung, dreiseitige Einsehbarkeit, Abdeckung mit ausreichendem seitlichen Überstand) können sie in die GK 0 überführt werden. Damit sind keine chemischen Holzschutzmaßnahmen notwendig.

Die Bogenbinder und Zangenträger bestehen aus Fichte-BSH, das im Herstellungsprozess technisch getrocknet wird. Sie werden durch oberseitige Verblechung und seitliche Verschalung konstruktiv vor direkter Bewitterung geschützt. Die Hinterlüftungsebenen zwischen Verschalung und Bogenoberflächen sind mit engmaschigen Insektenschutzgittern zu verschließen, um eine Zugänglichkeit für Insekten zu verhindern. Aufgrund ihrer Exposition wären die Binder und Zangenträger je nach Holzfeuchteentwicklung der Gebrauchsklasse (GK) 1 bzw. 2 zuzuordnen. Mit den genannten Schutzmaßnahmen können die Bogenbinder und Zangenträger in die GK 0 überführt werden. Chemischer Holzschutz ist für sie daher nicht notwendig.

Als temporäre Schutzmaßnahme während Transport und Montage werden die Längsträger, Zangenträger und Bogenbinder mit einer diffusionsoffenen Oberflächenbeschichtung versehen. Die Geländer sind frei bewittert. Die vertikalen Geländerelemente werden in die GK 3.1 und die horizontalen Geländerelemente in die GK 3.2 eingeordnet. Als Holzart ist Kernholz aus engjähriger Lärche einzusetzen. Die Geländerbauteile werden als Wartungsbauteile definiert. Das bedeutet, dass sie bei Schäden, die die Verkehrs- oder Standsicherheit beeinträchtigen, ausgetauscht werden müssen. Auf einen chemischen Holzschutz kann dafür verzichtet werden.

An den Enden der Längsträger, der Bogenbinder und Zangenträger wird ein Monitoringsystem zur Kontrolle der Holzfeuchte installiert. Die Holzfeuchte ist nach dem elektrischen Widerstandsmessverfahren nach DIN EN 13183-2 [9] punktuell zu ermitteln. Das System soll für einen Einsatz von mindestens fünf Jahren ausgelegt werden. Die Holzfeuchte ist in 4 cm Tiefe an mindestens jeweils zwei Messstellen im Auflagerbereich an den beiden äußeren Längsträgern, an den Bogenbindern und den Zangenträgern aufzuzeichnen. Zur Temperaturkompensation der Messwerte sind insgesamt 6 Temperatursensoren in unmittelbarer Nähe der Feuchtemesspunkte vorzusehen. Mit Hilfe von Batterien ist die Stromversorgung über den gesamten Betriebszeitraum sicher zu stellen. Die Daten sind vor Ort zu speichern und einmal wöchentlich per Datenfernübertragung zur Auswertung an den Auftraggeber zu senden. Sämtliche Mess- und Speichertechnik ist in zwei Installationskästen vor Witterung und Insekten geschützt anzuordnen. Die Kästen sind im Bereich der Auflager jeweils an einem inneren

Längsträger für die Besichtigung gut zugänglich, aber vandalismussicher zu befestigen. Zur Plausibilitätskontrolle und für die Interpretation der Ergebnisse ist in unmittelbarer Bauwerksnähe ein Klimasensor anzubringen, der das Umgebungsklima (Luftfeuchte und Lufttemperatur) aufzeichnet und an den Datenspeicher sendet.

Bei der jährlichen Bauwerksbesichtigung sind alle Maßnahmen des konstruktiven Holzschutzes (Verschalung und Verblechung) auf ihre Wirksamkeit zu überprüfen. Im Rahmen der Brückenprüfungen müssen sämtliche Holzbauteile auf feuchte Stellen und Befallsfreiheit kontrolliert werden. Bei den Hauptprüfungen ist für die handnahe Prüfung der Bogenbinder und Zangenträger die Abnahme der Verschalungselemente erforderlich.

Tabelle 1: Beispiel für die Aufstellung der Schutzmaßnahmen des Holzes vor Schädlingen

<b>Bauteil</b>	<b>Gebrauchs- klasse (GK)</b>	<b>Schutzmaßnahme</b>	<b>Holzart</b>	<b>Dauer- haftigkeits- klasse</b>	<b>Chem. Holz- schutz</b>
	DIN EN 335/ DIN 68800- 1	DIN 68800-2 / DIN EN 1995-2 NA / Musterzeichnungen	DIN EN 13556 [10]	DIN EN 350 Tabelle B.1	DIN 68800- 3
Längsträger	1/2 → 0	Witterungsschutz durch Fahrbahnplatte und Übe1, Hirnholzschutz, Schutz vor Insekten durch technische Trocknung, Einsehbarkeit und Kontrolle auf Schädlingsbefall	Fichte (PCAB) als BSH	4	-
Bogenbinder und Zangenträger	1/2 → 0	Witterungsschutz durch Verblechung und Verschalung, Schutz vor Insekten durch technische Trocknung und Insektenschutzgitter, Sichtkontrolle alle 6 a durch Abnahme der Verschalung	Fichte (PCAB) als BSH	4	-
Geländer	vertikal: 3.1 horizontal: 3.2	keine, da Wartungsbauteil	Europäische Lärche (LADC)	3	-

#### **1.4.2 Ergänzung zum Bauwerksplan: Holzschutzplan**

Das in der Anlage enthaltene Musterbeispiel für den Holzschutzplan stellt die im Musterbeispiel des Erläuterungsberichtes verbal beschriebene Bogenbrücke mit Fahrbahnplatte als Holz-Beton-Verbundkonstruktion dar.

## 2 Planungshilfe für Monitoringsysteme zur Holzfeuchteüberwachung

### 2.1 Zweck und Einordnung

Holz ist ein organischer, hygroskopischer Baustoff, dessen Materialfeuchte vom Umgebungsklima abhängt. Hohe Feuchten begünstigen einen Angriff biotischer Schädlinge auf die Holzstruktur. Als Grenzwert gilt eine maximale Holzfeuchte von 20 M%, die für maximal vier Monate im Jahr geringfügig überschritten werden darf [11]. Die Möglichkeit zur Rücktrocknung muss durch ausreichende Belüftung sichergestellt sein. Da Pilze für ihre Entwicklung freies Wasser aus der Holzzelle benötigen, erfolgt ein Befall erst oberhalb der Fasersättigung ab einer Holzfeuchte von ca. 28 – 30 M%. Der empfohlene Grenzwert von 20 M% beinhaltet somit einen Sicherheitsabstand.

Durch Maßnahmen des konstruktiven Holzschutzes ist das Holz vor hohen Feuchten infolge von Niederschlag, Spritz- oder Kondenswasser dauerhaft zu schützen. Die Schutzwirkung muss regelmäßig überprüft werden. Eine Kontrollmöglichkeit stellt die Überwachung der Holzfeuchte dar, wobei eine dauerhafte Überwachung in Form eines „Holzfeuchtemonitorings“ zu empfehlen ist. Beim Monitoring werden regelmäßig Messwerte erfasst, ausgewertet und als Werte oder Warnmeldung an eine verantwortliche Person weitergegeben. Das Monitoring ist kein Ersatz für die Bauwerksprüfung nach DIN 1076 [12]. Die Messwerte sollen lediglich Undichtigkeiten im Schutzsystem und damit mögliche Gefährdungen der Holzkonstruktion zeitnah anzeigen.

### 2.2 Messverfahren

Zur Bestimmung der Materialfeuchte an einer Holzbrücke eignet sich die Methode des elektrischen Widerstandsmessverfahrens nach DIN EN 13183-2 [9]. Dabei wird der elektrische Widerstand zwischen zwei im Holz angeordneten Elektroden unter kurzzeitig angelegter Spannung bestimmt. In Abhängigkeit von der Holzart und der Temperatur werden dem Wert anhand von Vergleichskurven Feuchtigkeiten zugeordnet. Diese Werte basieren auf Versuchen und sind als Mittelwert bei ähnlicher, gleichmäßiger Holzstruktur zu verstehen. Der Widerstand von feuchtem, fasergesättigtem Fichtenholz mit  $u = 30 \text{ M\%}$  beträgt rund  $333 \cdot 10^3 \Omega$  und steigt logarithmisch auf rund  $100 \cdot 10^9 \Omega$  für trockenes Holz mit  $u = 6 \text{ M\%}$  an. Eine zuverlässige Bestimmung der Feuchtegehalte ist mit den derzeit am Markt verfügbaren Geräten für den Bereich zwischen ca. 6 und 30 M% möglich. In diesem großen Widerstandsmessbereich beträgt der Messfehler der Holzfeuchtermittlung  $\pm 1 \%$ . Bei dem punktuellen Messverfahren gilt die gemessene Holzfeuchte nur lokal an der Messstelle. Ausführliche Informationen zur Durchführung einer Kurzzeitmessung nach dem elektrischen Widerstandsmessverfahren enthält die Anlage 2 des Muster-Prüfhandbuchs für Holzbrücken [13].

Im Unterschied zur Kurzzeitmessung verbleiben beim Holzfeuchtemonitoring die Elektroden dauerhaft im Holz. Die Messung erfolgt elektronisch in definierten Zeitintervallen. Die Daten werden aufgezeichnet, regelmäßig ausgelesen oder per Datenfernübertragung versendet. Hinweise zu Einbau, Lage und Messequipment enthalten die folgenden Erläuterungen. Andere Messverfahren, wie das kapazitative Verfahren [14], oder Flächensensoren können ebenfalls eingesetzt werden.

### 2.3 Messstellen

Die Messpunkte sollten an den Stellen der Haupttragkonstruktion angeordnet werden, an denen bei Fehlern in Planung und Bau und bei unterlassener Wartung Feuchte auftreten kann. Gefährdet sind Trägerenden im Bereich des Fahrbahnüberganges, Knotenpunkte insbesondere am Untergurt von Fachwerkträgern, Tiefpunkte der Abdichtung und Fugen. Messpunkte sind im Bereich des ungestörten, schutzmittelfreien Holzes vorzusehen. Abweichungen in der Dichte (z.B. durch Äste) oder in Form von Rissen, Holzfehlern, Harzeinschlüssen, Klebefugen, Keilzinkenstößen u. ä. beeinflussen das Messergebnis.

Die Messstellen müssen vor direkter Bewitterung geschützt sein. Bohrungen zum Einbringen der Elektroden sollten in horizontalen Flächen vertikal von unten oder in vertikalen Flächen leicht schräg nach oben ausgeführt und dauerhaft abgedichtet werden, sodass Wasser nicht in die Konstruktion eingetragen wird. Die Messungen sollten in einer Tiefe von 30 – 40 mm erfolgen.

## 2.4 Elektroden

Die Elektroden müssen korrosionsbeständig sein. Die Elektrodenspitzen, an denen die Messung erfolgt, sind im Holz zu verankern. Der Schaft und Anschlussbereich der Elektroden sowie sämtliche Leitungs- und Anschlussbestandteile müssen elektrisch isoliert sein, um Körperschluss mit dem Holz außerhalb des Messbereiches auszuschließen.

Solange keine geeigneten Elektrodensysteme am Markt verfügbar sind, werden Elektroden aus nichtrostendem Stahl (z.B. Spenglerschrauben aus A4,  $d_N = 4$  mm) empfohlen. Die Spitze und 15 mm des Gewindes bleiben als Mess- und Verankerungsbereich unisoliert; die Restlänge ist zu isolieren (z. B. durch einen Schrumpfschlauch). Der Einbau erfolgt in einer Bohrung mit einem Durchmesser von  $d_B = 5$  mm. Die Bohrlochlänge entspricht der isolierten Schaftlänge. Bei langen Elektroden besteht die Gefahr der Lockerung infolge von Quellen und Schwinden des Holzes in Schraubenlängsrichtung.

Beim Einbau der Elektrode ist das Bohrloch abzudichten (z.B. durch nichtleitendes Silikon). Der Anschlussbereich und der Schraubenkopf sind durch Kunststoffscheiben von der Holzoberfläche zu trennen sowie vor Feuchtigkeit und zur Verhinderung von Kriechströmen durch nichtleitende, witterungsbeständige Dichtstoffe zu schützen.

## 2.5 Anschlüsse und Messleitungen

Die Anschlüsse an die Messelektroden sowie an die Messsysteme müssen für den dauerhaften Einsatz im Außenbereich ausgelegt sein. Dazu müssen die Kontakte mechanisch und elektrisch fest verbunden sowie vor Witterungseinflüssen, Verschmutzung und Beschädigung geschützt sein. Zu beachten sind insbesondere korrosive Umwelteinflüsse, Belastungen aus Bauteilverformungen und Manipulationen durch Personen, Tiere und Pflanzen. Eine Beeinflussung durch stromführende Leitungen am Bauwerk sollte ausgeschlossen werden.

Für die Leitungen zwischen Messelektronik und Messstelle werden für den Außenbereich geeignete Kabel mit ausreichendem Querschnitt zugfest am Bauteil nahe der Messstelle befestigt. Mit zunehmender Leitungslänge steigt der Widerstand des Leiters. Daher sind die Länge zu begrenzen und ausreichend große Leitungsquerschnitte zu wählen. Empfohlen werden bei Längen bis 15 m Koaxialkabel mit mindestens  $0,5$  mm<sup>2</sup> Leitungsquerschnitt.

Bei der Kabelführung der Messleitungen ist darauf zu achten, dass Kondens-, Regen- oder Spritzwasser nicht an den Leitungen entlang zum Holz oder der Messstelle geführt wird, sondern schadlos abtropfen kann. Für die Kabelführung empfiehlt sich das Verlegen in Leerrohren oder als Bündel mit punktueller Befestigung. Eine verdeckte Führung der Messleitungen hinter Verschalungen oder in einer mit Fräsnut versehenen Zusatzlamelle verbessert die Schutzwirkung und die Optik.

## 2.6 Messtechnik

Die Messtechnik muss langfristig zuverlässig den elektrischen Widerstand des Holzes zwischen den Elektroden messen und aufzeichnen können. Für eine engmaschige Überwachung und zuverlässige Auswertung wird die Messung ca. alle 3 h (entspricht 8 Messwerten pro Tag und Messpunkt) empfohlen.

Der Widerstand des Holzes hängt neben der Feuchte auch von der Temperatur und der Holzart ab. Zur Temperaturkompensation sollte an jedem Messpunkt ein Temperatursensor in derselben Tiefe wie die Elektroden angebracht werden. Bei mehreren Messpunkten mit ähnlicher Exposition und Tiefe ist mindestens ein gemeinsamer Temperatursensor vorzusehen.

Zu Plausibilitätskontrollen und für die Interpretation der Ergebnisse wird zudem die Aufzeichnung des Umgebungsklimas (Luftfeuchte und Lufttemperatur) in unmittelbarer Bauwerksnähe mit Hilfe eines Klimasensors empfohlen.

Die Messdaten müssen vor Ort gespeichert werden. Die Kapazität des Datenspeichers ist mindestens für den Zeitraum zwischen zwei Revisionsintervallen auszulegen. Um Auffälligkeiten in der Holzfeuchteentwicklung zeitnah erkennen zu können, sind die regelmäßige Fernübertragung und zeitnahe Auswertung der Daten notwendig.

Für alle Bestandteile der Messtechnik, Datenspeicherung und Datenfernübertragung muss die Stromversorgung langfristig sichergestellt sein. Erfolgt die Stromversorgung über das Stromnetz oder einen Solaranschluss, müssen Störungen über Energiespeicher gepuffert werden. Der Batteriebetrieb sollte so dimensioniert sein, dass alle Bauteile für mindestens ein Jahr zentral mit Strom versorgt werden können.

Zum Schutz vor Umwelteinflüssen sollte die Messtechnik in einem Installationskasten untergebracht werden. Der Kasten muss vor dem Zugriff Dritter geschützt, jedoch für die regelmäßige Revision einfach und sicher erreichbar sein. Da die Messtechnik empfindlich gegenüber Feuchte und Verschmutzung ist, sollte der Installationskasten möglichst dicht schließen. Die Leitungszuführungen und Befestigungen müssen abgedichtet sein. Eine Entfeuchtung durch technische Maßnahmen oder regelmäßig zu wechselndes Trockenmittel (Silikagel) wird empfohlen.

Messtechnik, die außerhalb des Installationskastens angebracht ist, z.B. Klimasensoren, sollte einen Schutzlack erhalten. Auch kleine Öffnungen in den Gehäusen dieser Geräte sind gegen das Eindringen von Insekten abzudichten (z.B. Verschluss von Buchsen durch Stopfen).

Die Messtechnik, insbesondere die Sensoren und Schalter außerhalb der Messkästen, sind regelmäßig (mindestens einmal jährlich) auf Verunreinigungen und Korrosion zu kontrollieren. Eine korrosive Umgebung sowie der Zugang von Insekten kann die Funktion von Schaltern, Klimasensoren und Anschlusspunkten beeinträchtigen.

Durch Vergleichsmessungen mit Festwiderständen ist es möglich, die Zuverlässigkeit der Messelektronik zu überprüfen. Bei Abweichungen oder erkennbaren Veränderungen an den Geräten (Korrosion, Verunreinigung der Platinen etc.) ist die Technik zu warten, zu kalibrieren oder ggf. auszutauschen.

## 2.7 Interpretation der Messergebnisse

Mit der Planung des Monitorings und der Auswertung der Messergebnisse sollten erfahrene Ingenieure mit hoher Qualifikation auf den Gebieten des Holzbaus und der Messtechnik beauftragt werden.

Bei der Interpretation der Messergebnisse ist Folgendes zu beachten:

- Holzfeuchtemesswerte unter 20 M% bestätigen, dass an der Messstelle keine kritischen Holzfeuchten auftreten und das Bauwerk in diesem Bereich gut geschützt ist.
- Messwerte, die plötzlich und kurzfristig Holzfeuchten deutlich über 20 M% angeben, werden meist durch einen direkten Wassereintrag an der Messstelle verursacht. Diese Werte deuten auf eine akute Beschädigung der Abdichtung oder Schutzeinrichtung hin. Die Leckagen müssen schnellstmöglich lokalisiert und repariert werden.
- Langfristige Anstiege über 20 M% deuten darauf hin, dass das Schutzkonzept für dieses Bauwerk nicht ausreichend ist. In diesem Fall ist die Planung der Schutzmaßnahmen mit Ausführung, Bauart und Standort zu überprüfen.

Im Rahmen der regelmäßigen Bauwerksüberwachung nach DIN 1076 [12] (jährliche Besichtigung) sollten vergleichende Kurzzeitmessungen vorgenommen und die Messeinrichtungen des Monitoringsystems kontrolliert werden.

## 2.8 Rückbau des Monitorings

Es wird empfohlen, neue Brücken für mindestens zwei bis fünf Jahre mit einem Holzfeuchtemonitoring zu überwachen. Traten in diesem Zeitraum keine kritischen Holzfeuchten auf, kann davon ausgegangen werden, dass der konstruktive Holzschutz gut funktioniert. Wenn die regelmäßige Wartung und Prüfung des Bauwerks gesichert sind, kann danach das Monitoring zurück gebaut oder die Messintervalle können deutlich verlängert werden.

Beim Ausbau der Elektroden sind die Bohrlöcher zu reinigen und mit einem geeigneten System dauerhaft zu verschließen. Hierfür wird ein für die Sanierung tragender Holzbauteile zugelassenes Epoxidharzsystem empfohlen.

## Literatur

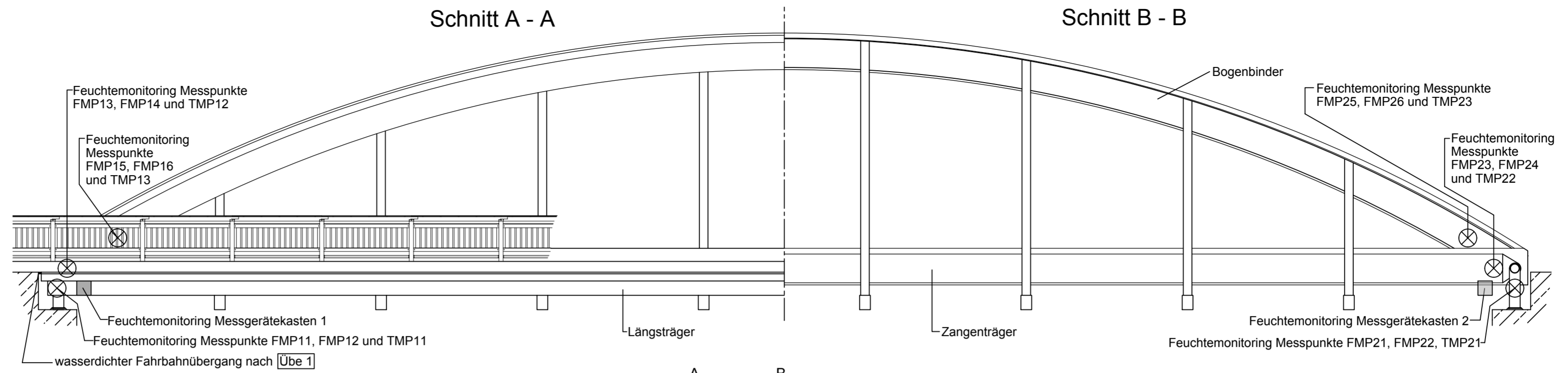
- [1] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Richtlinien für das Aufstellen von Bauwerksentwürfen für Ingenieurbauten (RAB-ING). 06/2018
- [2] DIN EN 335:2013-06: Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten – Gebrauchsklassen: Definitionen, Anwendung bei Vollholz und Holzprodukten
- [3] DIN 68800-1:2011-10: Holzschutz –Teil 1: Allgemeines
- [4] DIN 68800-2:2012-02: Holzschutz –Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau
- [5] DIN EN 1995-2/NA:2011-08: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 2: Brücken
- [6] Simon, A.; Arndt, R. W.; Jahreis, M.; Koch, J.: HolzBr – Musterzeichnungen für Holzbrücken. Forschungsprojekt „ProTimB“ Fachhochschule Erfurt. Stand 12.2018
- [7] DIN EN 350:2016-12: Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten – Prüfung und Klassifizierung der Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten gegen biologischen Angriff
- [8] DIN 68800-3:2012-02: Holzschutz –Teil 3: Vorbeugender Schutz von Holz mit Holzschutzmitteln
- [9] DIN EN 13183-2:2002-07: Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz, Teil 2: Schätzung durch elektrisches Widerstands-Messverfahren
- [10] DIN EN 13556:2003-10: Rund- und Schnittholz - Nomenklatur der in Europa verwendeten Handelshölzer
- [11] Marutzky, R.; Willeitner, H.; Radovic, B.; Hertel, H.; Grosser, D.: Holzschutz - Praxiskommentar zu DIN 68800 Teile 1 bis 4, 2. Aufl., Beuth, Berlin, 2013
- [12] DIN 1076:1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen - Überwachung und Prüfung
- [13] Simon, A.; Arndt, R. W.; Jahreis, M. G.; Koch, J.: Muster-Prüfhandbuch für Holzbrücken, Forschungsprojekt ProTimB, Fachhochschule Erfurt, Stand 07.2018.
- [14] DIN EN 13183-3:2005-06: Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz, Teil 3: Schätzung durch kapazitives Messverfahren

## Anlage

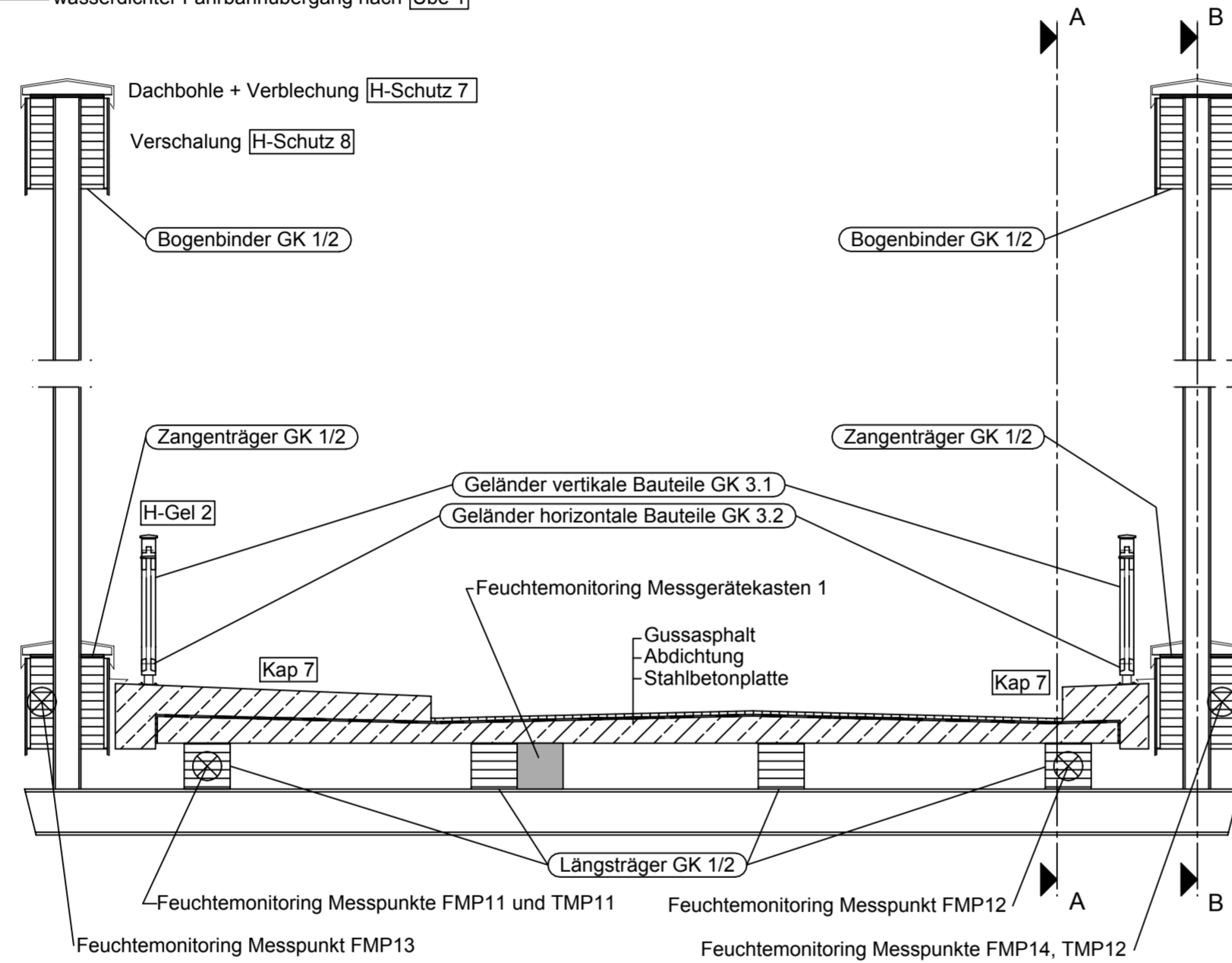
Musterbeispiel zum Bauwerksplan (Unterlage 8): Holzschutzplan



Längsschnitt M 1:100



Querschnitt M 1:50



Holzschutz

Bauteil	Gebrauchs- klasse (GK)	Schutzmaßnahme	Holzart	Dauer- haftigkeits- klasse	Chem. Holzschutz
	DIN EN 335 / DIN 68800-1	DIN 68800-2 / DIN EN 1995-2 NA / Musterzeichnungen	DIN EN 13556	DIN EN 350 Tabelle B.1	DIN 68800-3
Längsträger	1/2 → 0	Witterungsschutz durch Fahrbahn- platte und Übe1, Hirnholzschutz, Schutz vor Insekten durch technische Trocknung, Einsehbarkeit und Kontrolle auf Schädlingsbefall	Fichte (PCAB) als BSH	4	-
Bogenbinder / Zangenträger	1/2 → 0	Witterungsschutz durch Verblechung und Verschalung, Schutz vor Insekten durch technische Trocknung und Insektenschutzgitter, Sichtkontrolle alle 6 a durch Abnahme der Verschalung	Fichte (PCAB) als BSH	4	-
Geländer	vertikal: 3.1 horizontal: 3.2	keine, da Wartungsbauteil	Europäische Lärche (LADC)	3	-

Feuchtemonitoring

FMP = Feuchtemesspunkt  
TMP = Temperaturmesspunkt

Bauteil	Messpunkt	Messtiefe
Längsträger	FMP11	4 cm
	FMP12	4 cm
	TMP11	4 cm
	FMP21	4 cm
	FMP22	4 cm
	TMP21	4 cm
Zangenträger	FMP13	4 cm
	FMP14	4 cm
	TMP12	4 cm
	FMP23	4 cm
	FMP24	4 cm
	TMP22	4 cm
Bogenbinder	FMP15	4 cm
	FMP16	4 cm
	TMP13	4 cm
	FMP25	4 cm
	FMP26	4 cm
	TMP23	4 cm

Schnitt B - B

Entwurfsbearbeitung:	Projekt-Nr.:			
	Datum	Zeichen		
	Bearb.:			
	Gez.:			
	Gepr.:			
Geändert		Datum	Gez.	Geprüft
d				
c				
b				
a				
Straßenbauverwaltung:	Unterlage: 8			
	Straßenklasse und Nr.:			
	Blatt-Nr.:			
	Projekt-Nr.:			
	Gemarkung:			
Bauwerk / Baumaßnahme:	Datum		Zeichen	
	Bearb.:			
	Gez.:			
	Gepr.:			
	ASB-Nr.:			
Plandarstellung: Holzschutz Holzfeuchtemonitoring	Holzschutzplan		Maßstab:	
	Aufgestellt:		Geprüft:	
Gesehen:		Genehmigt:		

# **Anlage B**

## **Musterstatik**

## Musterstatik für Holzbrücken - Beispiel Deckbrücke

### Verfasser

Die Erarbeitung der Musterstatiken für Holzbrücken erfolgte im Rahmen des Forschungsprojektes „Entwicklung einheitlicher Richtlinien für den Entwurf, den Bau, die Überwachung und Prüfung geschützter Holzbrücken – Protected Timber Bridges (ProTimB)“. Das Projekt wurde finanziert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung, den Firmen der Qualitätsgemeinschaft Holzbrückenbau e.V. und dem Ingenieurbüro Setzpfandt Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG.

Projektleitung und Forscherteam:

Prof. Dr.-Ing. Antje Simon	Fachhochschule Erfurt
Prof. Dr.-Ing. Ralf Arndt	Fachhochschule Erfurt
Dr.-Ing. Markus Jahreis	Fachhochschule Erfurt
Johannes Koch	Fachhochschule Erfurt

# Inhaltsverzeichnis

1	Vorbemerkungen .....	4
1.1	Grundlagen .....	4
1.2	Bauwerksbeschreibung .....	4
1.3	Bauwerksskizze .....	5
1.4	Normen und Literatur .....	7
1.5	Abkürzungen .....	8
2	Einwirkungen .....	9
2.1	Ständige Einwirkungen .....	9
2.1.1	Ständige Einwirkung infolge Eigenlast .....	9
2.1.2	Ständige Einwirkung infolge Baugrundbewegung (Setzung) .....	10
2.2	Veränderliche Einwirkungen .....	10
2.2.1	Veränderliche Einwirkung infolge Verkehr .....	10
2.2.2	Veränderliche Einwirkung infolge Schnee .....	12
2.2.3	Veränderliche Einwirkung infolge Wind .....	12
2.2.4	Veränderliche Einwirkung infolge Temperatur- und Feuchteeinwirkungen .....	15
2.2.5	Veränderliche Einwirkung infolge Lagerwechsel .....	15
2.2.6	Außergewöhnliche Einwirkung infolge Erdbeben .....	15
2.2.7	Ermüdung .....	15
2.3	Teilsicherheitsbeiwerte, Kombinationsbeiwerte und Klassen der Lasteinwirkungsdauer .....	16
3	Position 1: Bohlenbelag .....	17
3.1	System und Belastung .....	17
3.2	Charakteristische Schnittgrößen .....	18
3.3	Bemessungsschnittgrößen .....	18
3.4	Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit .....	18
3.4.1	Biegung .....	18
3.4.2	Schub .....	19
3.4.3	Auflagerkraft .....	19
3.4.4	Verbindungsmittel .....	20
3.5	Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit .....	20
3.5.1	Nachweis der Anfangsverformung .....	20
3.5.2	Nachweis der Endverformung .....	21
4	Position 2: Belagträger .....	22
4.1	System und Belastung .....	22
4.2	Charakteristische Schnittgrößen .....	22
4.3	Bemessungsschnittgrößen .....	23
4.4	Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit .....	23
4.4.1	Biegung .....	23
4.4.2	Schub .....	23
4.4.3	Auflagerkraft .....	24

4.4.4	Verbindungsmittel.....	24
4.5	Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.....	25
4.5.1	Nachweis der Anfangsverformung .....	25
4.5.2	Nachweis der Endverformung .....	25
5	Position 3: Querriegel.....	26
6	Position 4: Geländer .....	26
6.1	System und Belastung.....	26
6.2	Schnittgrößen und Bemessung .....	27
6.2.1	Handlauf .....	27
6.2.2	Geländerpfosten .....	28
6.2.3	Verbindungsmittel.....	29
6.3	Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.....	30
6.3.1	Nachweis der Anfangsverformung .....	30
6.3.2	Nachweis der Endverformung .....	30
7	Position 5: Hauptträger .....	31
7.1	System und Belastung.....	31
7.2	Charakteristische Schnittgrößen .....	32
7.3	Bemessungsschnittgrößen .....	32
7.4	Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit.....	33
7.4.1	Biegung mit Normalkraft .....	33
7.4.2	Schub.....	33
7.4.3	Auflagerkraft .....	34
7.4.4	Querzugnachweis .....	34
7.4.5	Verbindungsmittel.....	34
7.5	Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.....	35
7.5.1	Nachweis der Anfangsverformung .....	35
7.5.2	Nachweis der Enddurchbiegung.....	35
8	Position 5: Wind- und Aussteifungsverband.....	36
8.1	System und Belastung.....	36
8.2	Schnittgrößen und Nachweise.....	37

# 1 Vorbemerkungen

## 1.1 Grundlagen

Das vorliegende Dokument beinhaltet die wesentlichen holzbauspezifischen Teile eines prüffähigen Standsicherheitsnachweises für eine einfache Deckbrücke in Holzbauweise. Es soll Ingenieuren der Tragwerksplanung als Arbeitshilfe bei der statischen Berechnung von Holzbrücken dienen. Grundkenntnisse der Lastannahmen im Brückenbau auf der Basis des semiprobabilistischen Sicherheitskonzeptes sowie in der Bemessung von Holztragwerken werden vorausgesetzt.

Das Beispiel basiert auf den Eurocodes EC 0, EC 1 und EC 5 inklusive der Nationalen Anhänge sowie den Normen zu den Verbindungsmitteln, zum Material Holz und zum Korrosionsschutz (Stand Mai 2019). Jeder Abschnitt der Lastannahmen und der statischen Berechnung ist mit einer Referenzierung auf den jeweils zugehörigen Normenabschnitt versehen. Dieser direkte Normenbezug erleichtert die Nachvollziehbarkeit und ermöglicht eine effektive Einarbeitung in die Thematik für die Anwender.

Die vorliegende Statik umfasst nur die holzbauspezifischen Nachweise des Überbaus bis OK Lager. Stahlbau- und Detailnachweise sowie Nachweise für Lager und Unterbauten werden nicht geführt.

## 1.2 Bauwerksbeschreibung

Die Deckbrücke des Berechnungsbeispiels befindet sich in Erfurt und führt über einen Fluss. Sie weist eine Stützweite von 20,00 m auf. Im Grundriss verläuft die Brücke gerade. Aufgrund der Breite zwischen den Geländern von 2,00 m ist das Bauwerk nur für die Nutzung als Geh- und Radwegbrücke vorgesehen. Das Befahren der Brücke durch Servicefahrzeuge oder außerplanmäßigen Verkehr wird dauerhaft durch die feste Installation von Pollern verhindert.

Die Brücke ist als geschützte Holzbrücke nach DIN EN 1995-2/NA konstruiert. Hinterlüftete seitliche Verschalungen und eine obere Abdeckung schützen die hölzernen Hauptträger vor direkter Bewitterung. Die Verschalung ist so anzubringen, dass die handnahe Prüfung möglich ist (z. B. innenseitig aufklappbar).

Der Brückenbelag besteht aus Holzbohlen der Holzart Eiche und ist als Wartungsbauteil mit kürzerer Nutzungsdauer als das geschützte Haupttragwerk anzusehen. Die Belagsbohlen sind mit Edelstahlschrauben auf separaten Belagträgern zu befestigen, die seitlich neben den Hauptträgern angeordnet sind. Damit wird eine Perforierung des konstruktiven Holzschutzes auf der Hauptträgeroberseite durch die Bohlenbefestigung verhindert. Die Belagträger werden aus Kernholz der Holzart Lärche gefertigt. Sowohl die Belagträger als auch das Geländer, welches ebenfalls aus Lärchekernholz besteht, werden als Wartungsbauteile angesehen. Sämtliche Wartungsbauteile sind so zu befestigen, dass sie leicht ausgetauscht werden können.

Zum Schutz vor Insektenbefall sind gemäß DIN 68800-1 und in Anwendung der Musterzeichnungen für Holzbrücken sämtliche Holzelemente technisch getrocknet und sämtliche Hinterlüftungsebenen mit Insektenschutzgittern zu versehen.

Die vertikalen Lasten werden von den 90 mm dicken Belagsbohlen aufgenommen und auf die darunterliegenden Hauptträger aus Brettschichtholz GL24c und die Belagträger 10/20 cm aus Nadelholz C24 verteilt. Im Abstand von 2,00 m liegen die Belagträger auf stählernen Querriegeln auf. Diese Querriegel dienen neben der Aufnahme der Horizontallasten in Brückenquerrichtung auch der Kippstabilisierung der Hauptträger.

Hauptträger, Querriegel und Stahldiagonalen sind Bestandteile des Wind- und Aussteifungsverbandes, der in Höhe der Querriegelachse unterhalb der Gehbahn angeordnet wird. Die Pfosten und Diagonalen des Aussteifungsverbandes bestehen aus Stahl.

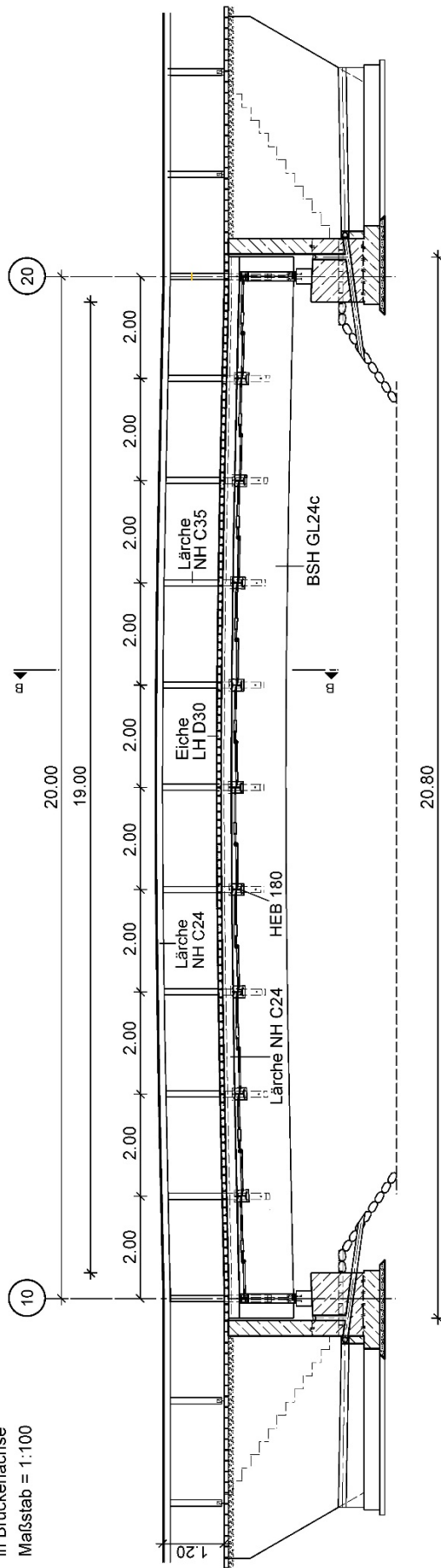
Die Geländerhöhe beträgt aufgrund der Nutzung durch Radfahrer 1,30 m über OK Gehbahn.

### 1.3 Bauwerksskizze

#### Längsschnitt

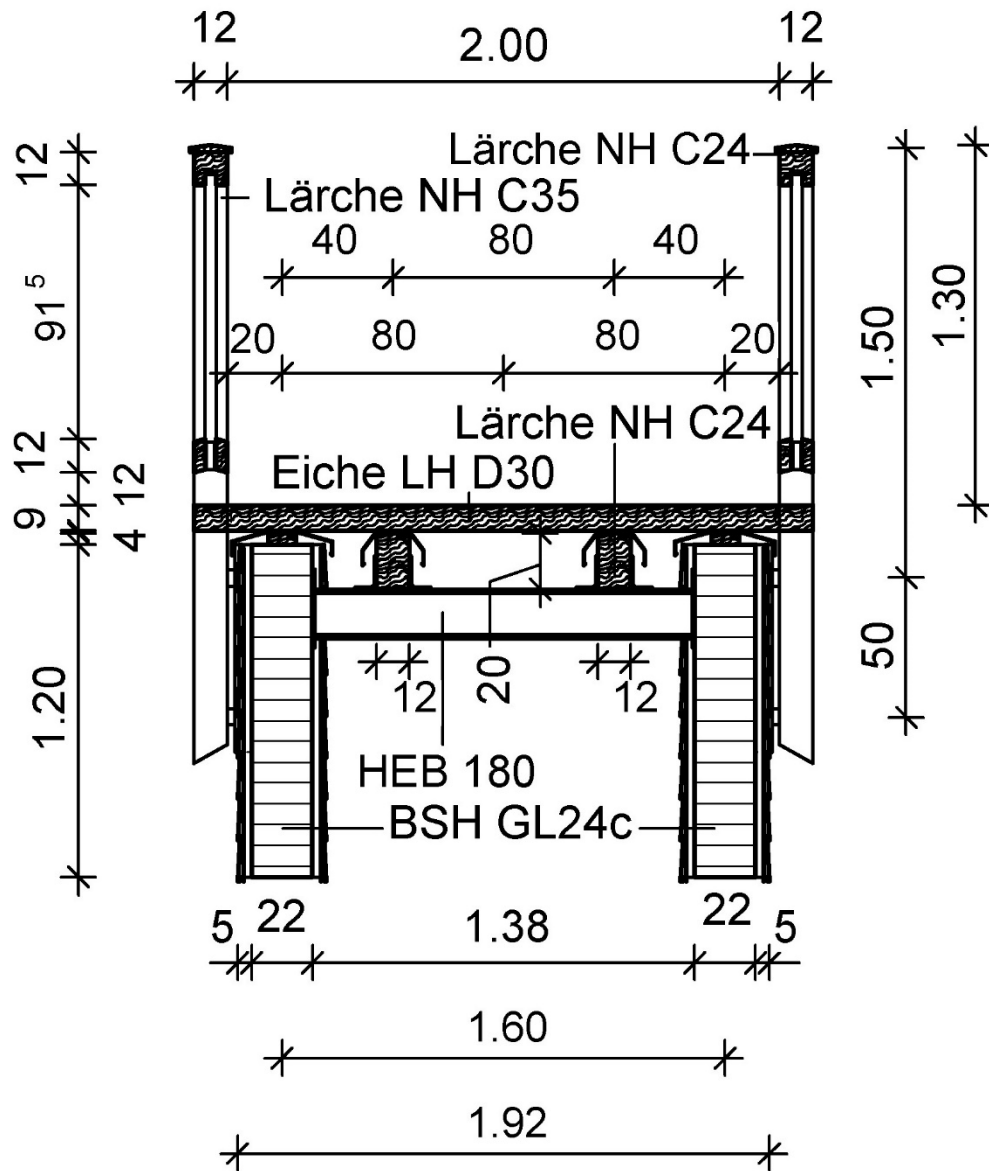
#### Längsschnitt A-A

in Brückenachse  
Maßstab = 1:100



Regelquerschnitt

Schnitt B-B





## 1.4 Normen und Literatur

DIN EN 1990:2010-12: Grundlagen der Tragwerksplanung.

DIN EN 1990 NA:2010-12: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung.

DIN EN 1990 NA/A1:2012-08: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Änderung A1.

DIN EN 1991-1-1:2010-12: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau.

DIN EN 1991-1-1/NA:2010-12: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau.

DIN EN 1991-1-3:2010-12: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen – Schneelasten.

DIN EN 1991-1-3/A1:2015-12: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen – Schneelasten; Deutsche Fassung EN 1991-1-3:2003/A1:2015.

DIN EN 1991-1-3/NA:2019-04: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen – Schneelasten.

DIN EN 1991-1-4:2010-12: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten.

DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten.

DIN EN 1991-1-5:2010-12: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-5: Allgemeine Einwirkungen – Temperatureinwirkungen.

DIN EN 1991-1-5/NA:2010-12: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-5: Allgemeine Einwirkungen – Temperatureinwirkungen.

DIN EN 1991-1-7:2010-12: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-7: Allgemeine Einwirkungen – Außergewöhnliche Einwirkungen.

DIN EN 1991-1-7/A1:2014-08: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-7: Allgemeine Einwirkungen – Außergewöhnliche Einwirkungen; Deutsche Fassung EN 1991-1-7:2006/A1:2014.

DIN EN 1991-1-7/NA:2010-12: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-7: Allgemeine Einwirkungen – Außergewöhnliche Einwirkungen.

DIN EN 1991-2:2010-12: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken.

DIN EN 1991-2/NA:2012-08: Eurocode 1: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken.

DIN EN 1995-1-1:2010-12: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau.

DIN EN 1995-1-1/A2:2014-07: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten –Teil 1-1: Allgemeines –Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau - Änderung1.

DIN EN 1995-1-1/NA:2013-08: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau.

DIN EN 1995-2:2010-12: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 2: Brücken.

DIN EN 1995-2/NA:2011-08: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 2: Brücken.

DIN EN 338:2016-07: Bauholz für tragende Zwecke – Festigkeitsklassen. Deutsche Fassung EN 338:2016.

DIN EN 14080:2013-09: Holzbauwerke – Brettschichtholz und Balkenschichtholz – Anforderungen; Deutsche Fassung EN 14080:2013.

DIN 68800-1:2011-10: Holzschutz - Teil 1: Allgemeines.

DIN 20000-1:2017-06: Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 1: Holzwerkstoffe.

DIN 1025-2:1995-11: Warmgewalzte I-Träger – Teil 2: I-Träger, IPB-Reihe, Maße, Masse, statische Werte.

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Allgemeines Rundschreiben Straßenbau (ARS) 22/2012.

Informationsdienst Holz: Musterzeichnungen für Holzbrücken. holzbau handbuch Reihe 1, Teil 9, Folge 3, Februar 2019.

Simon, A.; Arndt, R.; Jahreis, M.; Koch, J.: Empfehlungen für Technische Vertragsbedingungen für Holzbrücken – ETV-HolzBr. Juni 2019.

DIN EN 10219-2:2019-07: Kaltgeformte geschweißte Hohlprofile für den Stahlbau – Teil 2: Grenzabmaße, Maße und statische Werte; Deutsche Fassung EN 10219-2:2019.

## 1.5 Abkürzungen

GZT	Grenzzustand der Tragfähigkeit
GZG	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
STR	Tragwerks- oder Querschnittsversagen (structural)
S/V	ständige und vorübergehende Bemessungssituation
A	außergewöhnliche Bemessungssituation
KLED	Klasse der Lasteinwirkungsdauer
VM	Verbindungsmittel
SF	Scherfuge

## 2 Einwirkungen

### 2.1 Ständige Einwirkungen

#### 2.1.1 Ständige Einwirkung infolge Eigenlast

Die Eigenlast der Bauteile wird in den jeweiligen Einzelpositionen berücksichtigt.

##### Geländer

Handlauf und Fußriegel

NH C24 (Lärche), Querschnitt: je 12/12 cm

$$4,2 \text{ kN/m}^3 \cdot (0,12 \text{ m})^2 \cdot 2 = 0,12 \text{ kN/m}$$

Pfosten

NH C35 (Lärche), 12/12 cm, L = 2,10 m, a = 2,0 m

$$4,8 \text{ kN/m}^3 \cdot (0,12 \text{ m})^2 \cdot 2,10 \text{ m} / 2,0 \text{ m} = 0,07 \text{ kN/m}$$

Füllstäbe

NH C24 (Lärche), 4/4 cm, L = 1,0 m, 4,5 Stck. pro m

$$4,2 \text{ kN/m}^3 \cdot (0,04 \text{ m})^2 \cdot 1,0 \text{ m} \cdot 4,5 = 0,03 \text{ kN/m}$$

Deckbrett

NH C24 (Lärche), 15/3 cm,

$$4,2 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,15 \text{ m} \cdot 0,03 \text{ m} = 0,02 \text{ kN/m}$$

$$g_{k,Gel} = 0,24 \text{ kN/m}$$

DIN EN 1991-1-1,  
Tab. A.3

##### Bohlenbelag

LH D30 (Eiche), Querschnitt 140/90 mm, Fuge 10 mm

$$6,4 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,14 \text{ m} / 0,15 \text{ m} \cdot 0,09 \text{ m} \quad g_{k,Belag} = 0,54 \text{ kN/m}^2$$

DIN EN 1991-1-1,  
Tab. A.3

##### Belagträger

Querschnitt 10/20 cm, NH C24

$$4,2 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,10 \text{ m} \cdot 0,20 \text{ m} \quad g_{k,LT1} = 0,08 \text{ kN/m}$$

DIN EN 1991-1-1,  
Tab. A.3

##### Stahlbauteile

HEB 180, S235

$$78,5 \text{ kN/m}^3 \cdot 65,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad g_{k,180} = 0,51 \text{ kN/m}$$

DIN EN 1991-1-1,  
Tab. A.4  
DIN 1025-2, Tab. 1

##### Hauptträger

Querschnitt 22/120 cm, BSH GL24c

$$3,5 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,22 \text{ m} \cdot 1,20 \text{ m} = 0,93 \text{ kN/m}$$

Schalung d = 2 cm, NH C24

$$4,2 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,02 \text{ m} \cdot 1,25 \text{ m} \cdot 2 \text{ Seiten je Träger} = 0,21 \text{ kN/m}$$

Lagerbohle, Konterlattung und Blechabdeckung

$$\text{pauschal} = 0,16 \text{ kN/m}$$

$$g_{k,HT} = 1,30 \text{ kN/m}$$

DIN EN 1991-1-1,  
Tab. A.3

DIN EN 1991-1-1,  
Tab. A.3

### 2.1.2 Ständige Einwirkung infolge Baugrundbewegung (Setzung)

Aufgrund der Ausbildung des Überbaus als gelenkig gelagerter Einfeldträger treten infolge einer achsweise anzusetzenden Stützensenkung keine Zwangsschnittgrößen auf. Einwirkung infolge Baugrundbewegung sind daher nicht anzusetzen.

## 2.2 Veränderliche Einwirkungen

### 2.2.1 Veränderliche Einwirkung infolge Verkehr

#### Lastmodell gleichmäßig verteilte Verkehrslast

Als gleichmäßig verteilte Verkehrslast ist

$$q_{fk} = 5 \text{ kN/m}^2$$

infolge einer Menschenansammlung anzusetzen.

Die Last darf in Abhängigkeit von der Stützweite reduziert werden auf:

$$2,5 \text{ kN/m}^2 \leq q_{fk} = \left(2,0 + \frac{120}{L + 30}\right) \text{ kN/m}^2 \leq 5,0 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{fk} = \left(2,0 + \frac{120}{20 + 30}\right) \text{ kN/m}^2 = 4,4 \text{ kN/m}^2$$

#### Lastmodell konzentrierte Einzellast

Als konzentrierte Einzellast wird

$$Q_{fwk} = 10 \text{ kN}$$

mit einer quadratischen Aufstandsfläche von 0,1 m Seitenlänge berücksichtigt.

Die konzentrierte Einzellast darf auf eine Fläche bezogen werden, welche sich unter einem Lastausbreitungswinkel von 45° bis zur Achshöhe des Bohlenbelages ergibt.

Eine Abminderung dieser Einwirkung auf minimal 5 kN darf nach Abstimmung mit dem Bauherrn erfolgen, wenn das Befahren der Brücke durch dauerhafte Absperreinrichtungen ausgeschlossen wird.

Diese Einwirkung wird nur für lokale Nachweise berücksichtigt.

Das Lastmodell der konzentrierten Einzellast muss nicht angewendet werden, wenn ein Dienstfahrzeug berücksichtigt wird.

#### Lastmodell Dienstfahrzeug

Wenn Dienstfahrzeuge auf der Brücke fahren können, ist deren Einwirkung  $Q_{serv}$  zu berücksichtigen. Die Eigenschaften des Lastmodells sind für das Einzelprojekt anzupassen.

Wenn keine genaueren Angaben vorhanden sind, kann als Einwirkung infolge von Dienstfahrzeugen das Lastmodell für unplanmäßige Anwesenheit von Fahrzeugen auf der Brücke angewendet werden.

Für ein bestimmtes Projekt können auch mehrere, sich gegenseitig ausschließende Dienstfahrzeuge mit unterschiedlichen Eigenschaften berücksichtigt werden.

Das Befahren der vorliegenden Brücke wird durch dauerhafte Absperreinrichtungen ausgeschlossen, weshalb das Lastmodell Dienstfahrzeug für dieses Projekt nicht angewendet wird.

**DIN EN 1991-2,**  
5.3.2.1, (2)

**DIN EN 1991-2,**  
5.3.2.2, (1) mit **DIN**  
**EN 1991-2/NA,** NDP  
zu 5.3.2.2, (1) Anm.

**DIN EN 1995-2,** Tab.  
5.2

**DIN EN 1991-2/NA,**  
NDP zu 5.3.2.2, (1)  
Anm.

**DIN EN 1991-2,**  
5.3.2.2, (2)

**DIN EN 1991-2,**  
5.3.2.2, (3)

**DIN EN 1991-2,**  
5.3.2.3, (1)P und  
Anm. 1

**DIN EN 1991-2,**  
5.3.2.3, (1)P und  
Anm. 3

**DIN EN 1991-2,**  
5.3.2.3, (1)P und  
Anm. 2

**Horizontallast infolge Verkehr**

Es wird eine Horizontallast in Brückenlängsrichtung, auf der Oberkante des Belages in Überbauachse wirkend, angesetzt.

Die horizontale Kraft ergibt sich aus dem größeren Wert der beiden folgenden Lastansätze:

- Gesamtlast aus 10 % der gleichmäßigen Belastung  
 $Q_{flk,1} = 0,1 \cdot q_{flk} \cdot A_{Belag} = 0,1 \cdot 4,4 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,00 \text{ m} \cdot 20,80 \text{ m} = \mathbf{18,30 \text{ kN}}$
- 60 % des Dienstfahrzeuges:  
 entfällt, da kein Dienstfahrzeug die Brücke befahren kann

**DIN EN 1991-2**, 5.4,  
(1)

**DIN EN 1991-2**, 5.4,  
(2)

**Geländerlast**

Für die Bemessung des Geländers wird an dessen Oberkante gleichzeitig eine vertikale und eine horizontale Last infolge des Lastmodells gleichmäßig verteilte Last angesetzt.

$$q_{Gelv} = 1 \text{ kN/m}$$

$$q_{Gelh} = 1 \text{ kN/m}$$

Die vertikale Geländerlast wird nur für die Geländer selbst und deren Befestigung angesetzt.

Für die Bemessung der die Geländer tragenden Bauteile ist die Horizontallast gleichzeitig mit der gleichmäßig verteilten Linienlast  $q_{flk}$  anzusetzen.

**DIN EN 1991-2/NA**,  
NDP zu 4.8 (1) Anm.  
2

**DIN EN 1995-2**, 4.8  
(2)

**Definition von Lastgruppen infolge Verkehr**

Die Einwirkungen infolge Verkehr sind gemäß folgender Definition als Lastgruppen gleichzeitig wirkend anzusetzen:

$$gr1: q_{flk} + Q_{flk}$$

$$gr2: Q_{serv} + Q_{flk}$$

Jede Lastgruppe ist bei Kombination mit anderen Einwirkungen als eine charakteristische Einwirkung zu betrachten.

Die beiden Lastgruppen schließen sich gegenseitig aus.

In diesem Beispiel wird nur Lastgruppe gr1 angesetzt, da das Lastmodell Dienstfahrzeug nicht zur Anwendung kommt.

**DIN EN 1991-2**, 5.5,  
(1)

**DIN EN 1991-2**, 5.5,  
(1)

**DIN EN 1991-2**, 5.5,  
(1)

**Außergewöhnliche Einwirkungen infolge Verkehr**

Außergewöhnliche Einwirkungen für Fußgängerbrücken können sein:

- Anpralllasten aus Straßenverkehr unter der Brücke
- unplanmäßige Anwesenheit von Fahrzeugen auf der Brücke

Außergewöhnliche Einwirkungen infolge Verkehr werden auf der Beispielbrücke nicht berücksichtigt, da:

- die Brücke über ein Gewässer führt (keine Anpralllasten aus Straßenverkehr unter der Brücke) und
- das Befahren der Brücke durch dauerhafte Absperreinrichtungen verhindert wird (keine unplanmäßige Anwesenheit von Fahrzeugen auf der Brücke).

**DIN EN 1991-2**,  
5.6.1(1)

**DIN EN 1991-2**,  
5.6.2 und 5.6.3

### Dynamisches Modell für Fußgängerbrücken

Wenn ein Schwingungsnachweis geführt werden muss, so sind in Abhängigkeit von den dynamischen Eigenschaften des Tragwerkes die Eigenfrequenzen mit den zugehörigen Vertikal-, Horizontal- und Torsionsschwingungen für das Haupttragwerk des Überbaus zu ermitteln.

In der vorliegenden Musterstatik wird auf den Schwingungsnachweis verzichtet.

**DIN EN 1991-2, 5.7 (1)**

### 2.2.2 Veränderliche Einwirkung infolge Schnee

Der Aufstellort der Brücke befindet sich in Schneelastzone 2. Daraus ergibt sich die charakteristische Schneelast auf dem Boden:

$$s_k = 0,25 + 1,91 \cdot \left( \frac{A+140}{760} \right)^2 \geq 0,85 \text{ kN/m}^2$$

mit  $A = 194 \text{ m NN}$  (Geländehöhe am Aufstellort)

$$s_k = 0,25 + 1,91 \cdot \left( \frac{194+140}{760} \right)^2 = 0,62 \text{ kN/m}^2 < 0,85 \text{ kN/m}^2$$

$$s_k = 0,85 \text{ kN/m}^2$$

Die Schneelast ist nur bei gedeckten Geh- und Radwegbrücken mit der Verkehrslast zu kombinieren.

Da die Schneelast geringer ist als die Verkehrslast, wird die Schneelast im vorliegenden Beispiel nicht maßgebend und deshalb im Weiteren nicht betrachtet.

**DIN EN 1991-1-3/NA, Bild NA.1**

**DIN EN 1991-1-3/NA, Gl. (NA.2)**

**DIN EN 1990/NA-A1, A2.2.3 (3)**

### 2.2.3 Veränderliche Einwirkung infolge Wind

Einwirkungen infolge Wind werden gemäß Abbildung 1 für die verschiedenen Anströmrichtungen definiert.

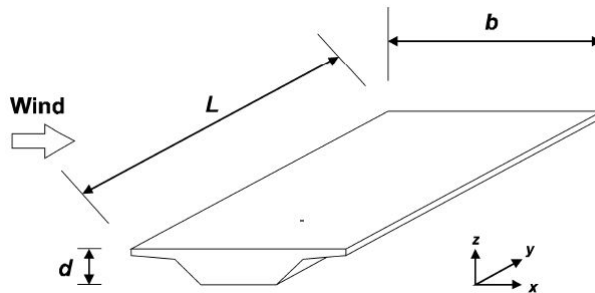


Abbildung 1: Richtungen der Windeinwirkungen bei Brückenüberbauten nach DIN EN 1991-1-4 Bild 8.2

Einwirkungen infolge Wind werden als quasi-statische Lasten angenommen, da die folgenden Rahmenbedingungen eingehalten werden:

- Die Spannweite ist mit  $20 \text{ m} \leq 40 \text{ m}$ .
- Es handelt sich um eine gewöhnliche Konstruktion aus Stahl, Beton, Aluminium oder Holz sowie Verbundkonstruktionen.
- Es handelt sich um einen Querschnitt eines normalen Brückenüberbaus gemäß Abbildung 2.

**DIN EN 1991-1-4 Bild 8.2**

**DIN EN 1991-1-4, 8.2 (1) Anm. 3**

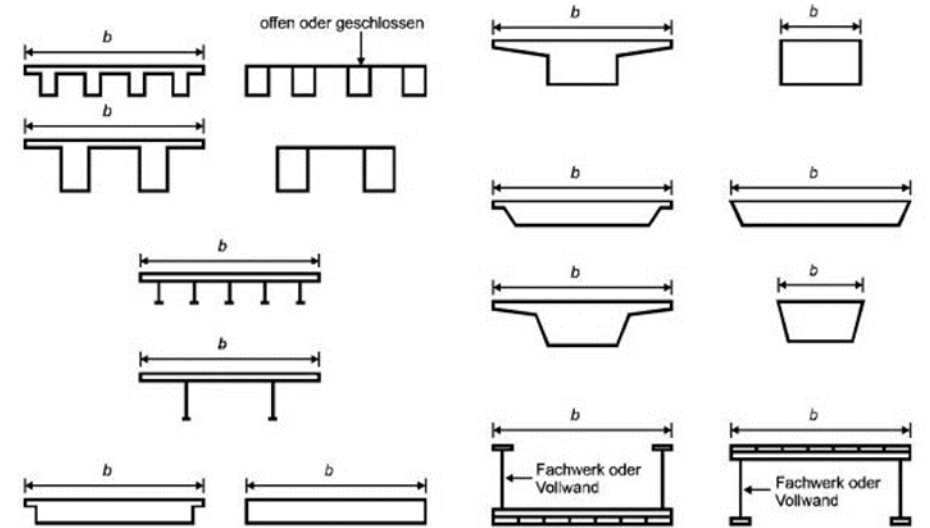


Abbildung 2: Beispiele für Querschnitte normaler Brückenüberbauten nach DIN EN 1995-1-4 Bild 8.1

Zur Windlastermittlung wird das Verfahren nach DIN EN 1991-4/NA Anhang NA.N angewendet.

Die Anwendungsgrenzen des Verfahrens sind eingehalten:

- Es handelt sich um eine übliche, nicht schwingungsanfällige Konstruktion.
- Die Höhe des Überbaus über Gewässer ist mit  $z \approx 5,30 \text{ m} \leq 100 \text{ m}$ .

Eingangswerte zur Windlastermittlung:

Der Aufstellort der Brücke befindet sich in Windzone 2, Binnenland.

#### Lastfall 1: Windlast ohne Verkehr

Dicke des Überbaus:  $\Sigma$ (Ansicht Träger, Fahrbahnen, Kappen, massive Schutteinrichtung, jedes offene Geländer od. Leitplanke mit 0,3 m)

$$d_1 = 1,20 \text{ m} + 0,13 \text{ m} + 2 \cdot 0,30 \text{ m} = 1,93 \text{ m}$$

(beidseitig Füllstabgeländer)

Breite des Überbaus:

$$b = 1,92 \text{ m}$$

Verhältnis von Überbaubreite zu –höhe:

$$b/d_1 = 1,92 \text{ m} / 1,93 \text{ m} \approx 1,0$$

#### Lastfall 2: Windlast mit Verkehr

$$d_1 = 2,00 \text{ m} + 1,20 \text{ m} + 0,13 \text{ m} = 3,33 \text{ m}$$

$$b = 1,92 \text{ m}$$

$$b/d_1 = 0,58$$

Höhe der Windlastresultierenden über Gelände oder mittlerem Wasserstand

$$z_e = z_{\text{Lichte}} + 0,5 d_1$$

$$z_{e,LF1} = 3,30 \text{ m} + 0,5 \cdot 1,93 \text{ m} = 4,27 \text{ m} < 20 \text{ m}$$

$$z_{e,LF2} = 3,30 \text{ m} + 0,5 \cdot 3,33 \text{ m} = 4,97 \text{ m} < 20 \text{ m}$$

DIN EN 1991-1-4,  
Bild 8.1

DIN EN 1991-1-4/NA, Anhang NA.N

DIN EN 1991-1-4/NA  
Anhang NA.N,  
NA.N.1 (1) und (2)

DIN EN 1991-1-4,  
8.3.1 (4) a

DIN EN 1991-1-4,  
8.3.1 (5) a

DIN EN 1991-1-4,  
8.3.1 (6)

**Windlast in x-Richtung (horizontal seitlich auf Überbau)****Tabelle 1** Windeinwirkungen nach DIN EN 1991-1-4/NA, Tabelle NA.N.5

1	2	3	4	5	6	7
	Ohne Verkehr und ohne Lärmschutzwand			Mit Verkehr <sup>a</sup> oder mit Lärmschutzwand		
	auf Überbauten					
$h/d^b$	$z_e \leq 20$ m	$20 \text{ m} < z_e \leq 50$ m	$50 \text{ m} < z_e \leq 100$ m	$z_e \leq 20$ m	$20 \text{ m} < z_e \leq 50$ m	$50 \text{ m} < z_e \leq 100$ m
$\leq 0,5$	1,75	2,45	2,90	1,45	2,05	2,40
$= 4$	0,95	1,35	1,60	0,80	1,10	1,30
$\geq 5$	0,95	1,35	1,60	0,60	0,85	1,00
	auf Stützen und Pfeilern <sup>c</sup>					
$d/b^b$	$z_e \leq 20$ m		$20 \text{ m} < z_e \leq 50$ m		$50 \text{ m} < z_e \leq 100$ m	
$\leq 0,5$	1,70		2,35		2,80	
$\geq 5$	0,75		1,05		1,25	
<sup>a</sup> Es gilt der Kombinationsbeiwert $\psi_0 = 0,4$ (Windzone 3+4) und $\psi_0 = 0,55$ (Windzone 1+2). Für Eisenbahnbrücken gilt der Kombinationsbeiwert $\psi_0 = 0,6$ . <sup>b</sup> Bei Zwischenwerten kann linear interpoliert werden. <sup>c</sup> Bei quadratischen Stützen- oder Pfeilerquerschnitten mit abgerundeten Ecken, bei denen das Verhältnis $r/d \geq 0,20$ beträgt, können die Windeinwirkungen auf Pfeiler und Stützen um 50 % reduziert werden. Für $0 < r/d < 0,2$ darf linear interpoliert werden. Hierbei ist $r$ = Radius der Ausrundung.						

**Lastfall 1: Windlast ohne Verkehr**

$$w_{x,1} = 1,64 \text{ kN/m}^2 \text{ (linear interpoliert)}$$

$$\text{Windlastresultierende: } w_{x,1,res} = 1,64 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,93 \text{ m} = \mathbf{3,17 \text{ kN/m}}$$

**Lastfall 2: Windlast mit Verkehr**

$$w_{x,2} = 1,44 \text{ kN/m}^2 \text{ (linear interpoliert)}$$

$$\text{Windlastresultierende: } w_{x,2,res} = 1,44 \text{ kN/m}^2 \cdot 3,33 \text{ m} = \mathbf{4,80 \text{ kN/m}}$$

**Windlast in y-Richtung (horizontal in Brückenlängsrichtung)**

Für Vollwandbrücken sind 25 % der Windkraft in x-Richtung als Windbelastung in y-Richtung anzusetzen.

Lastfall 1: Windlast ohne Verkehr

$$W_{y,1,res} = 0,25 \cdot 1,64 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,93 \text{ m} \cdot 20,80 \text{ m} = 16,46 \text{ kN}$$

Lastfall 2: Windlast mit Verkehr

$$W_{y,2,res} = 0,25 \cdot 1,44 \text{ kN/m}^2 \cdot 3,33 \text{ m} \cdot 20,80 \text{ m} = 24,94 \text{ kN}$$

Bei der Dimensionierung der Festhaltekonstruktionen der Lager in Brückenlängsrichtung sind  $24,94 \text{ kN}/2 = 12,47 \text{ kN}$  Längskraft je Hauptträger aus Wind zu berücksichtigen.

**Windlast in z-Richtung (vertikal):**

Im vereinfachten Verfahren für nicht schwingungsanfällige Bauwerke nach Anhang NA.N kann auf den Ansatz einer Windlast in z-Richtung verzichtet werden.

**DIN EN 1991-1-4/NA**  
Anhang NA.N,  
Tabelle NA.N.5

**DIN EN 1991-1-3,**  
8.3.4

**DIN EN 1991-1-4/NA,** NDP zu 8.3.3  
(1) Anm. 1



### 2.2.4 Veränderliche Einwirkung infolge Temperatur- und Feuchteeinwirkungen

Für Holz gelten folgende Längenausdehnungskoeffizienten:

$$\alpha_{T,0} \approx 5 \cdot 10^{-6} \text{ m/K}; \alpha_{T,90} \approx 30 \dots 70 \cdot 10^{-6} \text{ m/K}$$

Auf den Ansatz einer Einwirkung infolge Temperatur darf bei reinen Holztragwerken verzichtet werden.

Quellen und Schwinden infolge Feuchteänderung müssen berücksichtigt werden, wenn Zwängungen durch Behinderung dieser Dehnungen entstehen können.

**DIN EN 1991-1-5**  
Anhang C, Tabelle C.1

**DIN EN 1995-1-1/NA**, NDP zu 2.3.1.2 (2)P

### 2.2.5 Veränderliche Einwirkung infolge Lagerwechsel

Aufgrund der Ausbildung des Überbaus als gelenkig gelagerter Einfeldträger treten infolge eines Lagerwechsels keine Zwangsschnittgrößen auf.

### 2.2.6 Außergewöhnliche Einwirkung infolge Erdbeben

Der Aufstellort des Bauwerks liegt nicht in einem Erdbebengebiet, es erfolgt keine Bemessung infolge von Einwirkungen aus Erdbeben.

### 2.2.7 Ermüdung

Ein Ermüdungsnachweis ist für die Bemessung von Geh- und Radwegbrücken üblicherweise nicht erforderlich. Ermüdungswirksame Einwirkungen aus Verkehr oder Wind treten an der Beispielbrücke nicht auf, der Ermüdungsnachweis entfällt daher.

**DIN EN 1995-2**, 6.2, (1)P, Anm. 1

## 2.3 Teilsicherheitsbeiwerte, Kombinationsbeiwerte und Klassen der Lasteinwirkungsdauer

**Tabelle 2** Teilsicherheitsbeiwerte und Klassen der Lasteinwirkungsdauer (Auszug aus DIN EN 1990/NA/A1, Tab. NA.A2.1 und DIN EN 1995-2/NA Tab. NA.1)

Einwirkung	Bezeichnung	$\gamma$ -Werte STR		KLED
		S/V	A	
Ständige Einwirkungen ungünstig günstig	$\gamma_{G,sup}$	1,35	1,0	ständig
	$\gamma_{G,inf}$	1,0	1,0	
Verkehrslasten <sup>a</sup> ungünstig günstig	$\gamma_{Q,sup}$	1,5	1,0	kurz
	$\gamma_{Q,inf}$	0	0	
Temperatur ungünstig günstig	$\gamma_{Q,sup}$	1,35	1,0	mittel
	$\gamma_{Q,inf}$	0	0	
Schnee, Wind <sup>b</sup> günstig ungünstig	$\gamma_{Q,sup}$	1,5	1,0	kurz bzw. mittel <sup>c</sup> kurz-sehr kurz <sup>d</sup>
	$\gamma_{Q,inf}$	0	0k	
Außergewöhnliche Einwirkungen	$\gamma_A$	-	1,0	sehr kurz

<sup>a</sup> für vertikale Einwirkungen aus Fußgängerkehr: gem. ARS 22/2012, Anlage 2:  $\gamma_{Q,sup} = 1,5$  für S/V (STR) statt  $\gamma_{Q,sup} = 1,35$  nach DIN EN 1990/NA/A1 Tabelle NA.A2.1

für Menschenansammlungen und Dienstfahrzeug: gemäß ARS 22/2012, Anlage 2: gelten die Teilsicherheitsbeiwerte der Zeile „alle anderen veränderlichen Einwirkungen“ aus DIN EN 1990/NA/A1 Tabelle NA.A2.1

<sup>b</sup> Behandlung von Schnee und Wind als „alle anderen veränderlichen Einwirkungen“ der Tab. NA.A2.1

<sup>c</sup> abhängig von der Geländehöhe des Bauwerksstandortes

<sup>d</sup> Bei Wind darf der resultierende  $k_{mod}$ -Wert aus dem Mittel der  $k_{mod}$ -Werte für die KLED kurz und sehr kurz angesetzt werden.

**Tabelle 3** Kombinationsbeiwerte nach DIN EN 1990-2, Tab. A2.2

Einwirkung	Bezeichnung	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Verkehrslasten	gr1	0,4	0,4	0
	$Q_{fwk}$	0	0	0
	gr2	0	0	0
Windkräfte	$F_{wk}$	0,3	0,2	0
Temperatur	$T_k$	0,6 <sup>a</sup>	0,6	0,5
Schneelasten	$Q_{Sn,k}$ (während der Bauausführung)	0,8	-	0
Lasten aus Bauausführung	$Q_c$	1,0		1,0

<sup>a</sup> Der empfohlene Zahlenwert für  $\psi_0$  für thermische Einwirkungen kann für die Grenzzustände der Tragfähigkeit EQU, STR und GEO in den meisten Fällen auf 0 abgemindert werden. Siehe auch Eurocodes für die Bemessung

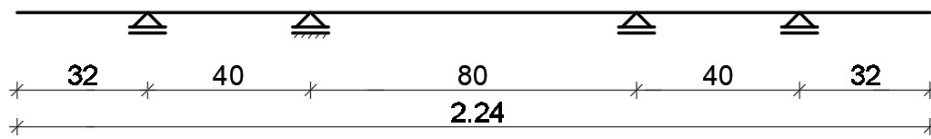
$\gamma$ -Werte nach **DIN EN 1990/NA/A1**, Tab. NA.A2.1

KLED nach **DIN EN 1995-2/NA**, Tab. NA.1

**DIN EN 1990-2**, Tab. A2.2

### 3 Position 1: Bohlenbelag

#### 3.1 System und Belastung



Die Bohlen liegen auf den Hauptträgern lose auf und werden auf zwei seitlich angeordneten Belagträgern verschraubt (siehe MuZ H-Gel 5, Blatt 2).

**Querschnitt:**  $b/h = 14 / 9$  cm LH D30 Eiche; Fugenbreite = 10 mm

Die Bohlen besitzen eine Verschleißschicht von  $d_v = 5$  mm, die statisch wirksame Höhe beträgt somit  $h_B = 8,5$  cm. Die Mindestdicke von 30 mm für einlagige Tragbeläge aus Vollholz ist damit eingehalten.

Die Aufstandsfläche der konzentrierten Einzellast beträgt  $10 \times 10$  cm. Daraus ergibt sich bei einer Lastverteilung unter  $45^\circ$  eine Verteilungsbreite in der Mittelebene der Bohlen von:

$$b_{w,middle,quer} = 10 \text{ cm} + 2 \cdot 4,25 \text{ cm} = 18,5 \text{ cm}$$

Eigenlast

$$6,4 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,14 \text{ m} \cdot 0,09 \text{ m} \qquad g_k = 0,08 \text{ kN/m}$$

Verkehrslast

gleichmäßig verteilte Flächenlast (Menschenansammlung)

$$5,00 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,14 \text{ m} \qquad q_{fk} = 0,70 \text{ kN/m}$$

konzentrierte Einzellast verteilt auf  $14 \text{ cm} \times 18,5 \text{ cm}$

$$10 \text{ kN} / (0,185 \text{ m}) \qquad q_{fwk} = 54,05 \text{ kN/m}$$

Für die konzentrierte Einzellast werden die Laststellungen (LS) für die Lastfälle max M und max V untersucht.

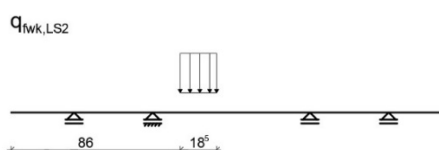
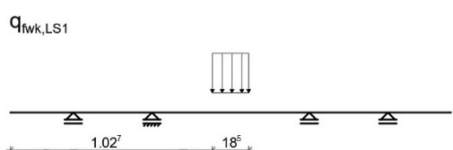
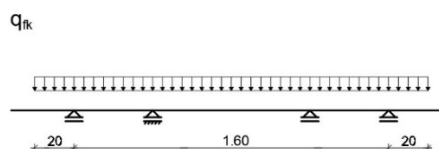
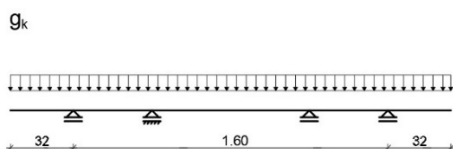
horizontale Belastung aus der Flächenverkehrslast:

$$Q_{fk,1} = 0,1 \cdot q_{fk} \cdot A_{Belag} = 0,1 \cdot 5 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,00 \text{ m} \cdot 0,14 \text{ m} = 0,14 \text{ kN/Bohle}$$

Die horizontale Last wirkt in Höhe OK Belag in Gehwegmitte. Das aus dem ausmittigen Lastangriff zusätzlich entstehende Torsionsmoment wird über die Verbindungsmittel (pro Bohle 4 Schrauben) aufgenommen.

$$\max M_k = (0,14 \text{ kN} \cdot 0,09 \text{ m}) = 0,013 \text{ kNm}$$

$$\max Z_k = \left( \frac{1,3 \text{ kNm}}{2 \text{ cm} \cdot 2} \right) = 0,32 \text{ kN/VM}$$



DIN EN 1995-2/NA, Tab. NA.2 und NA.3

DIN EN 1995-2, 5.1.2 mit Tab. 5.2 und Bild 5.1

Da die Verschraubung der Bohlen ausschließlich auf den Belagträgern erfolgt, dienen die Hauptträger nur als Druckauflager. Durchlaufende Bohlen dürfen als frei drehbar gelagerte Einfeldträger berechnet werden. Als Stützweite gilt der lichte Abstand der Auflager zuzüglich 10 cm, höchstens jedoch der Achsabstand. Daher werden die Bohlen als Einfeldträger mit 80 cm Stützweite bemessen. Für die Ermittlung der maximalen negativen Durchbiegung an den Kragarmenden wird das System zusätzlich mit zwei Kragarmen modelliert.

**DIN EN 1995-2/NA,**  
NCI NA.5.4

### 3.2 Charakteristische Schnittgrößen

LF	max $M_k$ [kNm]	max $V_k$ [kN]	max $B_k$ [kN]	max $w$ [mm] (Feld / Kragarm)	$k_{mod}$
$g_k$	0,0064	0,032	0,032	0 / 0	0,5
$q_{fk}$	0,056	0,28	0,28	0,04 / -0,11	0,7
$q_{fwk}$	1,77	7,09	10	1,1 / -3,02	0,7

Der Bohlenbelag ist frei bewittert und wird daher in Nutzungsklasse 3 eingeordnet. Daraus ergeben sich unter Berücksichtigung der Klassen der Lasteinwirkungsdauer die  $k_{mod}$ -Werte.

**DIN EN 1995-1-1,**  
Tab. 3.1

### 3.3 Bemessungsschnittgrößen

Eine Kombination der konzentrierten Einzellast mit anderen Verkehrslasten ist nicht erforderlich.

**DIN EN 1990,**  
A2.2.3, (1)

Bemessungsrelevant wird aufgrund der Lastgröße in allen Fällen die Lastkombination  $g_k + q_{fwk}$ .

Bemessungswert des Biegemomentes:

$$\max M_d = 1,35 \cdot M_{g,k} + 1,5 \cdot M_{q, fwk, 1} = (1,35 \cdot 0,0064 + 1,5 \cdot 1,77) = 2,66 \text{ kNm}$$

Bemessungswert der Querkraft:

$$\max V_d = 1,35 \cdot V_{g,k} + 1,5 \cdot V_{q, fwk, 2} = 1,35 \cdot 0,032 \text{ kN} + 1,5 \cdot 7,09 \text{ kN} = 10,68 \text{ kN}$$

Bemessungswert der maximalen Auflagerkraft:

$$\max B_d = 1,35 \cdot B_{g,k} + 1,5 \cdot Q_{fwk} = 1,35 \cdot 0,032 \text{ kN} + 1,5 \cdot 10 \text{ kN} = 15,04 \text{ kN}$$

### 3.4 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

#### 3.4.1 Biegung

Biegespannung:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{266 \text{ kNcm} \cdot 6}{14 \cdot 8,5^2 \text{ cm}^3} = 1,58 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Biegefestigkeit:

$$f_{m,k} = 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,70 \cdot \frac{3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,3} = 1,62 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

**DIN EN 338,** Tab. 3

Biegespannungsnachweis:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{1,58 \frac{kN}{cm^2}}{1,62 \frac{kN}{cm^2}} = 0,97 < 1$$

### 3.4.2 Schub

Schubspannung am Rechteckquerschnitt:

$$\tau_d = 1,5 \frac{V_{Ed}}{b_{ef} \cdot h}$$

Mit  $b_{ef} = k_{cr} \cdot b$  mit  $k_{cr} = 0,67$

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{10,68 kN}{0,67 \cdot 14 cm \cdot 8,5 cm} = 0,20 \frac{kN}{cm^2}$$

Schubfestigkeit:

$$f_{v,k} = 3,9 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,7 \cdot \frac{0,39 \frac{kN}{cm^2}}{1,3} = 0,21 \frac{kN}{cm^2}$$

Schubspannungsnachweis:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{0,20 \frac{kN}{cm^2}}{0,21 \frac{kN}{cm^2}} = 0,95 \leq 1$$

### 3.4.3 Auflagerkraft

Druckspannung senkrecht zur Faser:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}}$$

$$\frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} = \frac{15,04 kN}{14 cm \cdot (3 + 10 + 3) cm} = 0,07 \frac{kN}{cm^2}$$

(Erhöhung der Querdruckfläche beidseitig um je 3 cm)

Druckfestigkeit senkrecht zur Faser:

$$f_{c,90,k} = 5,3 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c,90,d} = 0,70 \cdot \frac{0,53 \frac{kN}{cm^2}}{1,3} = 0,29 \frac{kN}{cm^2}$$

Drucknachweis senkrecht zur Faser:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$$

Da die Einzellast im maßgebenden Lastfall unmittelbar über dem Auflager steht, ist der Querdruckbeiwert  $k_{c,90}$  mit 1,0 anzunehmen.

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} = \frac{0,07 \frac{kN}{cm^2}}{1,0 \cdot 0,29 \frac{kN}{cm^2}} = 0,25 < 1$$

**DIN EN 1995-1-1**, Gl. (6.11) reduziert auf einachsige Biegung

**DIN EN 1995-1-1**, Gl. (6.13a), 6.1.7 (2) Anm.

**DIN EN 338**, Tab. 3

**DIN EN 1995-1-1**, Gl. (6.13)

**DIN EN 1995-1-1**, 6.1.5 Gl. (6.4)

**DIN EN 338**, Tab. 3

**DIN EN 1995-1-1**, Gl. (6.3)

**DIN EN 1995-1-1**, 6.1.5 (2)

### 3.4.4 Verbindungsmittel

Die Bohlen werden mit selbstbohrenden Teilgewindeschrauben mit Senkkopf ( $d=8$  mm,  $L=160$  mm) nach AbZ auf den Belagträgern befestigt. Aufgrund der örtlichen Randbedingungen (Feuchte, Holzinhaltstoffe) sind Schrauben aus nichtrostendem Stahl zu verwenden. Es werden je Bohle und Knotenpunkt 2 Schrauben angeordnet.

ETV-HolzBr,  
Abschn. 3

Als Belastung sind anzusetzen:

1. abhebende Auflagerkraft aus  $q_{wfk,1}$  für Nachweis auf Herausziehen (Ermittlung für Belagträger 2 aus Laststellung mittig zwischen Hauptträger 1 und Belagträger 1)

$$F_{C,g,k} = 0,05 \text{ kN} \quad F_{C,q,k} = -0,65 \text{ kN}$$

$$F_{ax,d} = (1,0 \cdot 0,05 - 1,5 \cdot 0,65) \text{ kN} / 2 \text{ VM} = -0,47 \text{ kN/VM}$$

2. abhebende Auflagerkraft aus  $q_{fk}$  und Querkraft aus Horizontallast  $q_{flk,1}$  für kombinierten Nachweis auf Herausziehen und Abscheren (Ermittlung für Belagträger 2 aus Belastung Feld 1 und Kragarm rechts)

$$\text{aus } q_{fk}: F_{C,g,k} = 0,05 \text{ kN} \quad F_{C,q,k} = -0,12 \text{ kN}$$

aus zugehöriger Horizontallast:

$$Q_{flk,1} = 0,14 \text{ kN/(4VM)} \quad \text{mit } Z_{qflk} = 0,32 \text{ kN/VM}$$

$$F_{ax,d} = (1,0 \cdot 0,05/2 - 1,5 \cdot 0,12/2 - 1,5 \cdot 0,32) \text{ kN} = -0,55 \text{ kN/VM}$$

$$F_{V,Ed} = 1,5 \cdot 0,14/4 \text{ kN} = 0,05 \text{ kN/VM}$$

Der Nachweis kann nach dem vereinfachten Verfahren nach DIN EN 1995-1-1/NA, NCI Zu 8.2.1 (NA.2) geführt werden.

Tragfähigkeitskennwerte einer Schraube gemäß AbZ:

$$F_{ax,Rd} = 2,26 \text{ kN}$$

$$F_{V,Rd} = 1,85 \text{ kN}$$

1. Nachweis auf Herausziehen

$$\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{0,55 \text{ kN}}{2,26 \text{ kN}} = 0,24 < 1$$

2. Kombiniertes Nachweis auf Abscheren und Herausziehen

$$\left( \frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} \right)^2 + \left( \frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} \right)^2 \leq 1$$

$$\left( \frac{0,55 \text{ kN}}{2,26 \text{ kN}} \right)^2 + \left( \frac{0,05 \text{ kN}}{1,85 \text{ kN}} \right)^2 = 0,06 < 1$$

DIN EN 1995-1-1,  
8.7.1

DIN EN 1995-1-1,  
8.7.3 und Gl. (8.28)

## 3.5 Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Im GZG wird nur der Durchbiegungsnachweis geführt.

### 3.5.1 Nachweis der Anfangsverformung

Kombinationsbeiwerte für die Verkehrslast  $q_{fk}$ :  $\psi_0 = 0,4$  und  $\psi_2 = 0$

Kombinationsbeiwerte für die Verkehrslast  $q_{wfk}$ :  $\psi_0 = \psi_2 = 0$

DIN EN 1990, Tab.  
A2.2

**Nachweis Gesamtdurchbiegung:**

$$w_{inst} = w_{g,inst} + w_{q,1,inst} + \sum_{i=2}^n \psi_{0,i} \cdot w_{q,i,inst} \leq \frac{l}{300}$$

Bemessungsrelevant wird die Lastkombination  $g_k + q_{fwk}$ .

$$\text{Feld: } w_{inst} = 0,0\text{mm} + 1,1\text{mm} = 1,1\text{mm} < \frac{800\text{mm}}{300} = 2,6\text{mm}$$

$$\text{Kragarm: } w_{inst} = 0,0\text{mm} + 3,02\text{mm} = 3,02\text{mm} < \frac{600\text{mm}}{150} = 4\text{mm}$$

**Nachweis Durchbiegung aus Verkehrslast:**

$$w_{q,inst} \leq \frac{l}{400}$$

$$w_{q,inst} = 1,1\text{mm} < \frac{l}{400} = \frac{800\text{mm}}{400} = 2\text{mm}$$

**3.5.2 Nachweis der Endverformung**

Kriechbeiwert  $k_{def} = 2,0$  für Laubholz in Nutzungsklasse 3

**Nachweis der Gesamtdurchbiegung:**

$$w_{fin} = w_{g,inst} \cdot (1 + k_{def}) + w_{q,1,inst} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) + \sum_{i=2}^n w_{q,i,inst} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} \cdot k_{def}) \leq \frac{l}{200}$$

Bemessungsrelevant wird die Lastkombination  $g_k + q_{fwk}$ .

$$\text{Feld: } w_{fin} = 0,0 \cdot (1 + 2,0) + 1,1\text{mm} \cdot (1 + 0 \cdot 2,0) = 1,1\text{mm} < \frac{l}{200} = \frac{800\text{mm}}{200} = 4\text{mm}$$

$$\text{Kragarm: } w_{fin} = 0 \cdot (1 + 2) + 3,02\text{mm} \cdot (1 + 0 \cdot 2) = 3,02\text{mm} < \frac{l}{100} = \frac{600\text{mm}}{100} = 6\text{mm}$$

**Nachweis der Netto-Enddurchbiegung:**

$$w_{net,fin} = w_{g,inst} \cdot (1 + k_{def}) + \sum_{i=1}^n w_{q,i,inst} \cdot \psi_{2,i} \cdot (1 + k_{def}) - w_c \leq \frac{l}{300}$$

Da der quasi-ständige Anteil sämtlicher Einwirkungen aus Verkehr  $\psi_2 = 0$  ist und es keine Überhöhung gibt, ergibt sich die Netto-Enddurchbiegung nur aus Eigenlasten.

$$w_{net,fin} = 0,0 \cdot (1 + 2,0) = 0,0\text{mm} < \frac{l}{300} = \frac{800\text{mm}}{300} = 2,6\text{mm}$$

**DIN EN 1995-1-1/NA**, Tab. NA.13, Z.1

**DIN EN 1995-2/NA**, NDP zu DIN EN 1995-2, 7.2 und Tab. 7.1

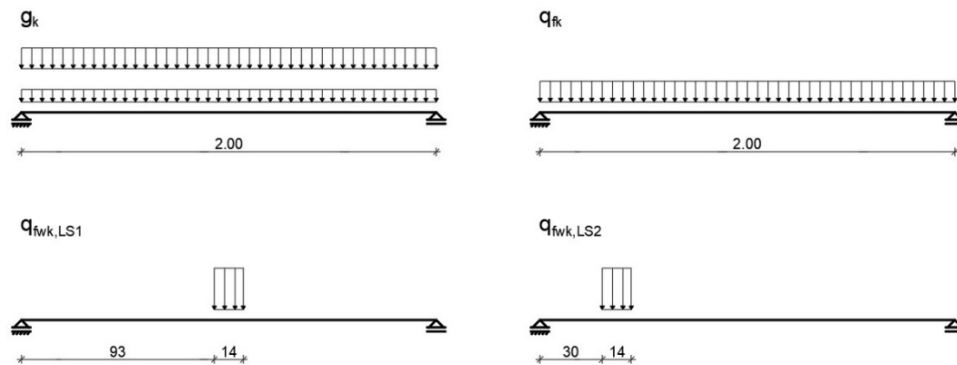
**DIN EN 1995-1-1**, Tab. 3.2

**DIN EN 1995-1-1/NA**, Tab. NA.13, Z.1

**DIN EN 1995-1-1/NA**, Tab. NA.13, Z.1

## 4 Position 2: Belagträger

### 4.1 System und Belastung



Die Belagträger sind Wartungsbauteile und werden auf der sicheren Seite liegend zum segmentweisen Austausch als Einfeldträger modelliert.

Querschnitt: NH C24, Lärche,  $b/h = 10/20$  cm

Zur Ermittlung der maximalen Belastung der Belagträger erfolgte eine Modellierung des Belages als feldweise belasteter Durchlaufträger (ergänzend zu Pos. 1). Dieser Berechnung sind die folgenden Auflagerkräfte entnommen.

#### Eigenlast

aus Pos.1 (Betrachtung am Durchlaufträger)

$$\max B_k = 0,05 \text{ kN}/0,15 \text{ m} \quad g_k = 0,36 \text{ kN/m}$$

$$\text{aus Eigenlast} \quad g_{k,LT1} = 0,08 \text{ kN/m}$$

#### Verkehrslast

gleichmäßig verteilte Flächenlast (Menschenansammlung)

aus Pos.1 (Betrachtung am feldweise belasteten Durchlaufträger)

$$\max B_k = 0,52 \text{ kN}/0,15 \text{ m} \quad q_{fk} = 3,47 \text{ kN/m}$$

konzentrierte Einzellast verteilt auf 14 cm

$$10 \text{ kN} / (0,14 \text{ m}) \quad q_{fwk} = 71,43 \text{ kN/m}$$

Für die konzentrierte Einzellast werden die Laststellungen (LS) für die Lastfälle  $\max M$  und  $\max V$  untersucht.

Die horizontale Belastung aus der Verkehrslast erzeugt in den Belagträgern eine sehr geringe Normalkraftbeanspruchung. Sie wird aufgrund der geringen Lastgröße in der Berechnung nicht explizit berücksichtigt. Es wird darauf geachtet, den Biegespannungsnachweis nicht voll auszulasten.

### 4.2 Charakteristische Schnittgrößen

LF	$\max M_{k,Feld}$ [kNm]	$\max V_{k,B}$ [kN]	$\max B_k$ [kN]	$\max w$ [mm]	$k_{mod}$
$g_k$	0,22	0,44	0,44	0,13	0,5
$q_{fk}$	1,74	3,47	3,47	0,99	0,7
$q_{fwk}$	4,83	8,15	10	2,27	0,7



Die Belagträger sind oberseitig mit einer Blechabdeckung versehen. Da die Abdeckung durch die Verbindungsmittel perforiert wird, werden die Belagträger in Nutzungsklasse 3 eingeordnet. Daraus ergeben sich unter Berücksichtigung der Klassen der Lasteinwirkungsdauer die  $k_{mod}$ -Werte.

### 4.3 Bemessungsschnittgrößen

Eine Kombination der konzentrierten Einzellast mit anderen Verkehrslasten ist nicht erforderlich.

Bemessungsrelevant wird aufgrund der Lastgröße die Lastkombination  $g_k + q_{fwk}$ .

Bemessungswert des Biegemomentes:

$$\begin{aligned} \max M_d &= 1,35 \cdot M_{g,k} + 1,5 \cdot M_{q,fwk,1} = (1,35 \cdot 0,22kNm + 1,5 \cdot 4,83kNm) \\ &= 7,54kNm \end{aligned}$$

Bemessungswert der Querkraft:

$$\max V_d = 1,35 \cdot V_{g,k} + 1,5 \cdot V_{q,fwk,2} = 1,35 \cdot 0,44kN + 1,5 \cdot 8,15kN = 12,82kN$$

Bemessungswert der maximalen Auflagerkraft:

$$\max B_d = 1,35 \cdot B_{g,k} + 1,5 \cdot Q_{fwk} = 1,35 \cdot 0,44kN + 1,5 \cdot 10kN = 15,59kN$$

### 4.4 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

#### 4.4.1 Biegung

Biegespannung:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{754kNcm \cdot 6}{10 \cdot 20^2 cm^3} = 1,13 \frac{kN}{cm^2}$$

Biegefestigkeit:

$$f_{m,k} = 24 \frac{N}{mm^2} = 2,4 \frac{kN}{cm^2}$$

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,70 \cdot \frac{2,4 \frac{kN}{cm^2}}{1,3} = 1,29 \frac{kN}{cm^2}$$

Biegespannungsnachweis:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{1,13 \frac{kN}{cm^2}}{1,29 \frac{kN}{cm^2}} = 0,88 < 1$$

#### 4.4.2 Schub

Schubspannung am Rechteckquerschnitt:

$$\tau_d = 1,5 \frac{V_{Ed}}{b_{ef} \cdot h}$$

Mit  $b_{ef} = k_{cr} \cdot b$  mit  $k_{cr} = \frac{2,0}{4,0} = 0,5$

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{12,82kN}{0,5 \cdot 10cm \cdot 20cm} = 0,19 \frac{kN}{cm^2}$$

Schubfestigkeit:

$$f_{v,k} = 4,0 \frac{N}{mm^2}$$

DIN EN 338, Tab. 1

DIN EN 1995-1-1, Gl. (6.11) reduziert auf einachsige Biegung

DIN EN 1995-1-1, Gl. (6.13a), und DIN EN 1995-1-1/NA, NDP zu 6.1.7 (2)

DIN EN 338, Tab. 1

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,7 \cdot \frac{0,4 \frac{kN}{cm^2}}{1,3} = 0,215 \frac{kN}{cm^2}$$

Schubspannungsnachweis:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{0,19 \frac{kN}{cm^2}}{0,215 \frac{kN}{cm^2}} = 0,88 < 1$$

DIN EN 1995-1-1, Gl. (6.13)

#### 4.4.3 Auflagerkraft

Druckspannung senkrecht zur Faser:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}}$$

$$\frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} = \frac{15,59 kN}{10 cm \cdot (9 + 3) cm} = 0,13 \frac{kN}{cm^2}$$

Die effektive Querdruckfläche am Auflager auf den Stahlquerträgern HEB 180 ergibt sich durch eine einseitige Vergrößerung der realen Auflagerlänge um 3 cm.

DIN EN 1995-1-1, 6.1.5 Gl. (6.4)

Druckfestigkeit senkrecht zur Faser:

$$f_{c,90,k} = 2,5 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c,90,d} = 0,70 \cdot \frac{0,25 \frac{kN}{cm^2}}{1,3} = 0,13 \frac{kN}{cm^2}$$

DIN EN 1995-1-1, 6.1.5

DIN EN 338, Tab. 1

Drucknachweis senkrecht zur Faser:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$$

Da sich die größte Auflagerkraft ergibt, wenn die Einzelachse direkt über dem Auflager steht, muss der Querdruckbeiwert  $k_{c,90}$  mit 1,0 angenommen werden.

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} = \frac{0,13 \frac{kN}{cm^2}}{1,0 \cdot 0,13 \frac{kN}{cm^2}} = 1$$

DIN EN 1995-1-1, Gl. (6.3)

DIN EN 1995-1-1, 6.1.5

#### 4.4.4 Verbindungsmittel

Die Belagträger werden über Stahlwinkel am Querriegel befestigt. Als Verbindungsmittel kommt je Auflagerpunkt ein Passbolzen 4.6 (d = 10 mm) zum Einsatz. Die Verbindungsmittel werden auf Abscheren aus der horizontalen Verkehrslast und den minimalen abhebenden vertikalen Auflagerkräften aus der vertikalen Verkehrslast (aus Durchlaufträgerbetrachtung mit feldweiser Belastung) beansprucht.

Für den Nachweis auf Abscheren wird die abhebende Auflagerkraft aus  $q_{fk}$  und Querkraft aus Horizontallast  $q_{fk,1}$  maßgebend.

$$F_{A,g,k} = 0,05 \text{ kN/Bohle} \quad F_{A,q,k} = -0,06 \text{ kN/Bohle}$$

$$Q_{fk,1} = 0,1 \cdot 5 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,0 \text{ m} \cdot 2,0 \text{ m} / 2 = 1 \text{ kN}$$

Aus der außermittigen Lasteinleitung der Horizontallast (Abstand OK Belag – VM-Achse = 9+8= 17 cm) resultiert ein Moment, das sich in ein weiteres Druck-Zug-Kräftepaar am Auflager zerlegen lässt:

$$Z_{qfk} = 1 \text{ kN/m} \cdot (0,09+0,08) \text{ m} \cdot 2,0 \text{ m} / 2,0 \text{ m} = 0,17 \text{ kN}$$

$$F_{ax,d} = (1,0 \cdot 0,05 - 1,5 \cdot 0,06) \text{ kN} / 0,15 \text{ m} \cdot 2 \text{ m} / 2 - 1,5 \cdot 0,17 \text{ kN} = -0,52 \text{ kN}$$

$$F_{V,Ed,horiz} = 1,5 \cdot 1 \text{ kN} = 1,5 \text{ kN}$$

$$F_{V,Ed,res} = \sqrt{0,52^2 + 1,5^2} = 1,52 \text{ kN}$$

Nachweis (Passbolzen auf Abscheren in Stahlblech – Holz-Verbindung, zweiseitig, außen liegendes dickes Stahlblech):

$F_{V,Rd} = 4,36 \text{ kN/SF}$  (für Kraft-Faser-Winkel =  $19^\circ$ )

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{1,52 \text{ kN}}{2 \cdot 4,36 \text{ kN}} = 0,17 < 1$$

## 4.5 Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Im GZG wird nur der Nachweis der Durchbiegung geführt.

### 4.5.1 Nachweis der Anfangsverformung

Kombinationsbeiwerte für die Verkehrslast  $q_k$ :  $\psi_0 = 0,4$  und  $\psi_2 = 0$

Kombinationsbeiwerte für die Verkehrslast  $q_{fwk}$ :  $\psi_0 = \psi_2 = 0$

**Nachweis Gesamtdurchbiegung:**

$$w_{inst} = w_{g,inst} + w_{q,1,inst} + \sum_{i=2}^n \psi_{0,i} \cdot w_{q,i,inst} \leq \frac{l}{300}$$

Bemessungsrelevant wird die Lastkombination  $g_k + q_{fwk}$ .

$$w_{inst} = 0,13 \text{ mm} + 2,27 \text{ mm} = 2,4 \text{ mm} < \frac{2000 \text{ mm}}{300} = 6,7 \text{ mm}$$

**Nachweis Durchbiegung aus Verkehrslast:**

$$w_{q,inst} \leq \frac{l}{400}$$

$$w_{q,inst} = 2,27 \text{ mm} < \frac{l}{400} = \frac{2000 \text{ mm}}{400} = 5 \text{ mm}$$

### 4.5.2 Nachweis der Endverformung

Kriechbeiwert  $k_{def} = 2,0$  für Vollholz in Nutzungsklasse 3

**Nachweis der Gesamtdurchbiegung:**

$$w_{fin} = w_{g,inst} \cdot (1 + k_{def}) + w_{q,1,inst} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) + \sum_{i=2}^n w_{q,i,inst} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} \cdot k_{def}) \leq \frac{l}{200}$$

Bemessungsrelevant wird die Lastkombination  $g_k + q_{fwk}$ .

$$w_{fin} = 0,13 \text{ mm} \cdot (1 + 2,0) + 2,27 \text{ mm} \cdot (1 + 0 \cdot 2,0) = 2,7 \text{ mm} < \frac{l}{200} = \frac{2000 \text{ mm}}{200} = 10 \text{ mm}$$

**Nachweis der Netto-Enddurchbiegung:**

$$w_{net,fin} = w_{g,inst} \cdot (1 + k_{def}) + \sum_{i=1}^n w_{q,i,inst} \cdot \psi_{2,i} \cdot (1 + k_{def}) - w_c \leq \frac{l}{300}$$

Da der quasi-ständige Anteil sämtlicher Einwirkungen aus Verkehr  $\psi_2 = 0$  ist und es keine Überhöhung gibt, ergibt sich die Netto-Enddurchbiegung nur aus Eigenlasten.

$$w_{net,fin} = 0,13 \text{ mm} \cdot (1 + 2,0) = 0,4 \text{ mm} < \frac{l}{300} = \frac{2000 \text{ mm}}{300} = 6,7 \text{ mm}$$

**DIN EN 1995-1-1,**  
8.6

**DIN EN 1990,** Tab.  
A2.2

**DIN EN 1995-1-1/NA,** Tab. NA.13,  
Z.1

**DIN EN 1995-2/NA,**  
NDP zu **DIN EN 1995-2,** 7.2 und Tab.  
7.1

**DIN EN 1995-1-1,**  
Tab. 3.2

**DIN EN 1995-1-1/NA,** Tab. NA.13,  
Z.1

**DIN EN 1995-1-1/NA,** Tab. NA.13,  
Z.1

## 5 Position 3: Querriegel

Der Querriegel HEB 180 aus S235 dienen als Auflager der Belagträger, als Kipphalterung der Hauptträger und als Pfosten im Wind- und Aussteifungsverband. Die Querriegel sind im oberen Bereich der Hauptträger angeordnet, um Quersug im Holz zu vermeiden. Am Anfang und Ende der Brücke werden die Querträger als Rahmen ausgebildet, um die Kippstabilisierung der Hauptträger in Form einer Gabellagerung zu ermöglichen.

Die Querriegel und Endquerrahmen sind Stahlbauteile und werden in dieser Musterstatik nicht explizit nachgewiesen.

## 6 Position 4: Geländer

### 6.1 System und Belastung

Die Geländer werden als Füllstabgeländer aus Lärchekernholz hergestellt. Alle Geländerbauteile sind frei bewittert. Sie gelten daher als Wartungsbauteile und werden in Nutzungsklasse 3 eingeordnet. Nachgewiesen werden der Handlauf und der Geländerpfosten.

#### Eigenlast:

Handlauf NH C24 (Lärche), Querschnitt: je 12/12 cm

$$4,2 \text{ kN/m}^3 \cdot (0,12 \text{ m})^2 = 0,06 \text{ kN/m}$$

$$\text{Geländerfeld gesamt: } g_{k,Gel} = 0,24 \text{ kN/m}$$

$$\text{Pfosten: } 0,24 \text{ kN/m} \cdot 2,0 \text{ m} \quad G_k = 0,48 \text{ kN}$$

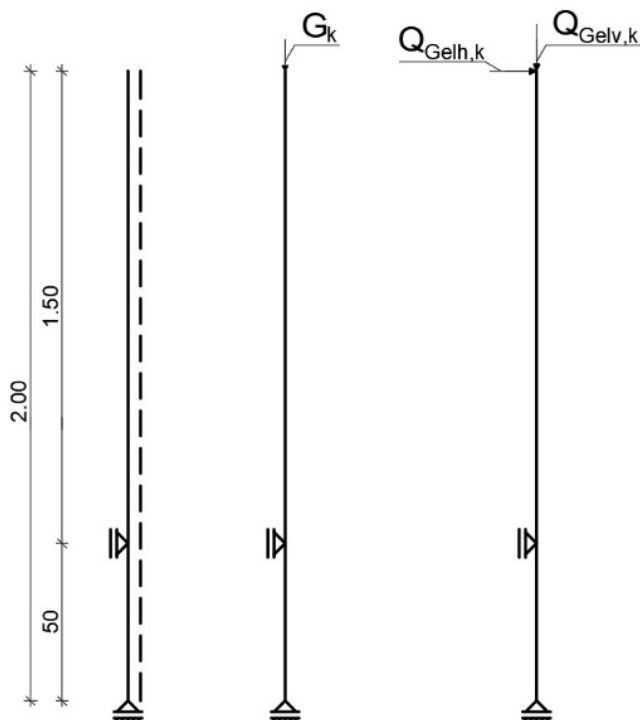
#### Verkehrslasten (Holmlasten)

$$Q_{Gelv,k} = 1 \text{ kN/m} \cdot 2,0 \text{ m} = 2,0 \text{ kN}$$

$$Q_{Gelh,k} = 1 \text{ kN/m} \cdot 2,0 \text{ m} = \pm 2,0 \text{ kN}$$

Der Handlauf wird als Einfeldträger mit der Stützweite von 2,0 m betrachtet.

Der Pfosten ist ein Kragträger.



## 6.2 Schnittgrößen und Bemessung

### 6.2.1 Handlauf

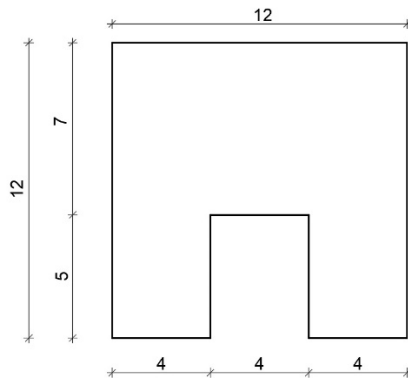
Biegung Geländerriegel unter Vertikallast

$$M_{f,v,d,Gel} = \frac{(1,35 \cdot 0,06 \text{ kN/m} + 1,5 \cdot 1,0 \text{ kN/m}) \cdot (2,0 \text{ m})^2}{8} = 0,79 \text{ kNm}$$

Biegung Geländerriegel unter Horizontallast

$$M_{f,h,d,Gel} = \frac{(1,5 \cdot 1,0 \text{ kN/m}) \cdot (2,0 \text{ m})^2}{8} = 0,75 \text{ kNm}$$

Nettoquerschnittswerte unter Berücksichtigung der Querschnittsschwächung von 4/5 cm am unteren Querschnittsrand durch die eingelegten Füllhölzer (vgl. MuZ H-Gel3):



$$I_y = 1402 \text{ cm}^4, z_s = 6,56 \text{ cm}$$

$$I_z = 1701 \text{ cm}^4, y_s = 6 \text{ cm}$$

Biegespannung:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d} \cdot z}{I_{y,n}} = \frac{79 \text{ kNm} \cdot 6,56 \text{ cm}}{1402 \text{ cm}^4} = 0,37 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d} \cdot y}{I_{z,n}} = \frac{75 \text{ kNm} \cdot 6}{1701 \text{ cm}^4} = 0,26 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Biegefestigkeit:

$$f_{m,k} = 24 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 2,4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,70 \cdot \frac{2,4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,3} = 1,29 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Biegespannungsnachweis:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,37 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,29 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} + 0,7 \cdot \frac{0,26 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,29 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,43 < 1$$

DIN EN 338, Tab. 1

DIN EN 1995-1-1, Gl. (6.11)

## 6.2.2 Geländerpfosten

Der Geländerpfosten wird aus Lärchekernholz C35 hergestellt.

Biegemoment unter Horizontallast

$$M_{\text{Pfosten,h,d}} = (1,5 \cdot 1,0 \text{ kN/m}) \cdot 2,0\text{m} \cdot 1,5\text{m} = 4,5 \text{ kNm}$$

Normalkraft

$$N_{\text{Pfosten,d}} = 1,35 \cdot 0,48\text{kN} + 1,5 \cdot 1,0 \text{ kN/m} \cdot 2,0\text{m} = 3,65 \text{ kN}$$

Querkraft

$$V_{\text{Pfosten,d}} = 4,5\text{kNm} / 0,5\text{m} = 9,0 \text{ kN}$$

Auflagerkraft am oberen Verbindungsmittel

$$F_{A_x,Ed} = 1,5 \cdot 8 \text{ kN} = 12 \text{ kN}$$

Nettoquerschnittswerte unter Berücksichtigung der Querschnittsschwächung durch die Verbindungsmittel (Passbolzen M16, 4.6):

$$A_n = 12 \text{ cm} \cdot (12 - 1,6) \text{ cm} = 124,8 \text{ cm}^2$$

$$W_n = 249,6 \text{ cm}^3$$

Biegespannung:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{4,50\text{kNcm}}{249,6\text{cm}^3} = 1,80 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Druckspannung:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{d}}{A} = \frac{3,65\text{kN}}{124,8\text{cm}^2} = 0,03 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Biegefestigkeit:

$$f_{m,k} = 35 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 3,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,70 \cdot \frac{3,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,3} = 1,88 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Druckfestigkeit:

$$f_{c,0,k} = 25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 2,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0,70 \cdot \frac{2,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,3} = 1,35 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis Biegung mit Druckkraft:

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\left( \frac{0,03 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,35 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} \right)^2 + \frac{1,80 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,88 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,96 < 1,0$$

Schubnachweis:

Schubspannung am Rechteckquerschnitt:

$$\tau_d = 1,5 \frac{V_{Ed}}{b_{ef} \cdot h}$$

Mit  $b_{ef} = k_{cr} \cdot b$  mit  $k_{cr} = \frac{2,0}{4,0} = 0,5$

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{9\text{kN}}{0,5 \cdot 124,8\text{cm}^2} = 0,216 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Schubfestigkeit:

$$f_{v,k} = 4,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,7 \cdot \frac{0,4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,3} = 0,215 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

DIN EN 338, Tab. 1

DIN EN 1995-1-1, Gl. (6.19) reduziert auf einachsige Biegung

DIN EN 1995-1-1, Gl. (6.13a), und DIN EN 1995-1-1/NA, NDP zu 6.1.7 (2)

DIN EN 338, Tab. 1

Schubspannungsnachweis:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{0,216 \frac{kN}{cm^2}}{0,215 \frac{kN}{cm^2}} = 1$$

DIN EN 1995-1-1, Gl. (6.13)

### 6.2.3 Verbindungsmittel

Die Geländerpfosten werden über Passbolzen M16 aus nicht rostendem Stahl (A2) am Hauptträger befestigt. Als Verbindungsmittel kommen je Pfosten zwei Passbolzen 4.6 (d = 16 mm) zum Einsatz. Die Verbindungsmittel werden auf Abscheren aus der Normalkraft und auf Druck bzw. Zug aufgrund des Momentes aus der Horizontalkraft beansprucht. Um eine Quersugbeanspruchung infolge Schwindbehinderung im Hauptträger auszuschließen, sind die unteren Löcher im Pfosten und in der Stirnplatte des Querriegels als vertikale Langlöcher (5 mm) auszubilden. Die Abscherkraft kann daher nur durch die oberen Verbindungsmittel übertragen werden.

Abscherkraft:  $F_{V,Ed} = 3,65 \text{ kN}$

Druck/Zugkraft im oberen Verbindungsmittel:

$$F_{Ax,Ed} = 12 \text{ kN}$$

Nachweis Passbolzen auf Abscheren in Holz – Holz-Verbindung, einschnittig:

$$F_{V,Rd} = 7,11 \text{ kN/SF (vereinfachend ohne Erhöhung um } \Delta F_{V,Rd})$$

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{3,65 \text{ kN}}{7,11 \text{ kN}} = 0,51 < 1$$

Nachweis Passbolzen auf Zug:

$$F_{ax,Rd} = 56,52 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{12 \text{ kN}}{56,52 \text{ kN}} = 0,21 < 1$$

Tragfähigkeit Passbolzen auf Zug und Abscheren

$$\left( \frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} \right)^2 + \left( \frac{F_{v,d}}{F_{v,Rd}} \right)^2 = \left( \frac{12 \text{ kN}}{56,52 \text{ kN}} \right)^2 + \left( \frac{3,65 \text{ kN}}{7,11 \text{ kN}} \right)^2 = 0,31 < 1$$

Nachweis Querdruck im Holz mit Unterlagscheibe DIN 440R  $d_A = 72 \text{ mm}$ :

$$A_{\text{netto}} = 36,91 \text{ cm}^2$$

$$f_{cs,90,d} = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_m} \cdot f_{cs,90,k} = \frac{0,70}{1,3} \cdot \left( 3 \cdot 0,27 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \right) = 0,44 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{cs,Rd} = A_{\text{netto}} \cdot f_{cs,90,d} = 16,24 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{F_{c,d}}{F_{cs,Rd}} = \frac{12 \text{ kN}}{16,24 \text{ kN}} = 0,74 < 1$$

DIN EN 1995-1-1, 8.5.2 (2)

### 6.3 Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Im GZG wird nur der Nachweis der Durchbiegung geführt.

#### 6.3.1 Nachweis der Anfangsverformung

Kombinationsbeiwerte für die Verkehrslast  $q_k$ :  $\psi_0 = 0,4$  und  $\psi_2 = 0$

**Nachweis Gesamtdurchbiegung:**

$$w_{inst} = w_{g,inst} + w_{q,1,inst} + \sum_{i=2}^n \psi_{0,i} \cdot w_{q,i,inst} \leq \frac{l}{150}$$

$$w_{inst} = 13mm > \frac{1500mm}{150} = 10mm$$

Der in der Norm empfohlene Grenzwert wird um 3 mm überschritten. Aus ästhetischen Gründen soll in Abstimmung mit dem Bauherren auf eine Vergrößerung der Querschnittshöhe verzichtet werden.

#### 6.3.2 Nachweis der Endverformung

Kriechbeiwert  $k_{def} = 2,0$  für Vollholz in Nutzungsklasse 3

**Nachweis der Gesamtdurchbiegung:**

$$w_{fin} = w_{g,inst} \cdot (1 + k_{def}) + w_{q,1,inst} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) + \sum_{i=2}^n w_{q,i,inst} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} \cdot k_{def}) \leq \frac{l}{100}$$

$$w_{fin} = 13mm \cdot (1 + 0 \cdot 2,0) = 13mm < \frac{l}{100} = \frac{1500mm}{100} = 15mm$$

**DIN EN 1990**, Tab. A2.2

**DIN EN 1995-1-1/NA**, Tab. NA.13, Z.1

**DIN EN 1995-1-1**, Tab. 3.2

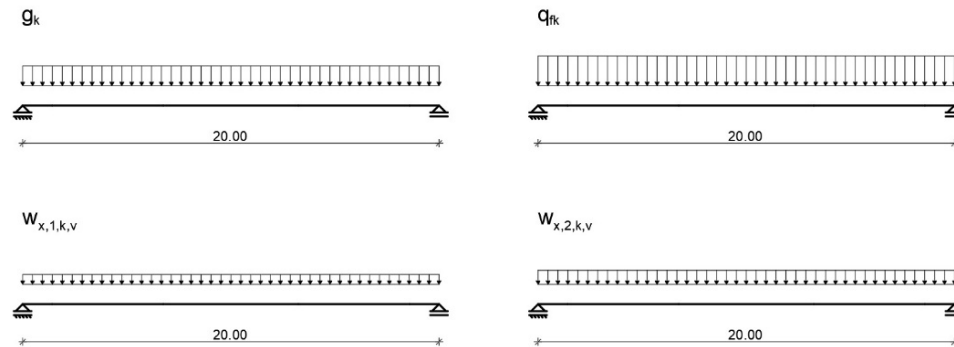
**DIN EN 1995-1-1/NA**, Tab. NA.13, Z.1



## 7 Position 5: Hauptträger

### 7.1 System und Belastung

Die Hauptträger sind Einfeldträger mit Stützweiten von 20,00 m. Die Queraussteifung erfolgt durch die stählernen Querriegel. An den Auflagern sind Endquerträger als Rahmen ausgebildet, um die erforderliche Gabellagerung zur gewährleisten.



Für die horizontale Belastung sind die Hauptträger als Bestandteile des Aussteifungsverbandes Durchlaufträger über 10 Felder mit Stützweiten von 2,0 m.

Querschnitt: Brettschichtholz GL24c 22/120 cm

Die kleinste Querschnittsabmessung des Hauptträgers beträgt 220 mm. Die Mindestdicke von 120 mm für Hauptträger aus Brettschichtholz ist damit eingehalten.

Die Querschnittsfläche des Hauptträgers beträgt 264.000 mm<sup>2</sup>. Die Mindestquerschnittsfläche von 24.000 mm<sup>2</sup> für Hauptträger aus Brettschichtholz ist damit auch eingehalten.

**DIN EN 1995-2/NA,**  
Tab. NA.2 Z. 1 SP. 2

**DIN EN 1995-2/NA,**  
Tab. NA.2 Z. 1 SP. 3

#### Eigenlast für einen Hauptträger

Eigenlast Hauptträger mit Verschalung u. Abdeckung:  $g_{k,HT} = 1,30 \text{ kN/m}$

Belag:  $0,54 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,00 \text{ m} / 2$   $g_{k,Belag} = 0,54 \text{ kN/m}$

Belagträger:  $g_{k,LT} = 0,08 \text{ kN/m}$

Querriegel:

$(0,51 \text{ kN/m} \cdot 1,38 \text{ m} / 2) \cdot 11 \text{ Stck.} / 20 \text{ m}$   $g_{k,QR} = 0,19 \text{ kN/m}$

Geländer:  $g_{k,Gel} = 0,24 \text{ kN/m}$

Verband:  $g_{k,Verb} = 0,15 \text{ kN/m}$

$\sum g_{k,HT} = 2,50 \text{ kN/m}$

#### Verkehrslast

gleichmäßig verteilte Flächenlast (Menschenansammlung)

$4,40 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,00 \text{ m} / 2$   $q_{fk} = 4,40 \text{ kN/m}$

Die konzentrierte Einzellast wird für die Hauptträgerbemessung nicht mehr maßgebend.

Horizontallast infolge Verkehr:

$18,30 \text{ kN} / 2 \text{ Stck.} =$   $Q_{fk,1} = 9,15 \text{ kN}$

Windlasten

Wind in x-Richtung:

Aus dem Versatzmoment der Windlastresultierenden bezogen auf die Verbandsebene ergeben sich Windlasten auf die Hauptträger in vertikaler Richtung. Die Verbandsebene wird in der Achse der Querriegel angeordnet, diese befindet sich 95 cm über der Unterkante der Hauptträger.

Windlast ohne Verkehr

$$w_{x,1,k,v} = 1,64 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,93 \text{ m} \cdot (1,93 \text{ m}/2 - 0,95 \text{ m})/1,60 \text{ m} = \pm 0,03 \text{ kN/m}$$

Windlast mit Verkehr

$$w_{x,2,k,v} = 1,44 \text{ kN/m}^2 \cdot 3,33 \text{ m} \cdot (3,33 \text{ m}/2 - 0,95 \text{ m})/1,60 \text{ m} = \pm 2,14 \text{ kN/m}$$

Maßgebend wird der Lastfall „Wind mit Verkehr“.

Wind in y-Richtung (LF „Wind mit Verkehr“):

$$W_{y,2,k,h} = 24,94 \text{ kN}/2 = 12,47 \text{ kN}$$

**7.2 Charakteristische Schnittgrößen**

LF	max $M_k$ [kNm]	max $V_k$ [kN]	max $w$ [mm]	$k_{mod}$
$g_k$	125	25	13,2	0,6
$q_{ik}$	220	44	23,1	0,9
$w_{x,2,k,v}$	107	21,4	11,3	1,0

Die Hauptträger werden aufgrund der oberseitigen Abdeckung und der seitlichen Verschalung in Nutzungsklasse 2 eingeordnet. Daraus ergeben sich unter Berücksichtigung der Klassen der Lasteinwirkungsdauer die  $k_{mod}$ -Werte.

**7.3 Bemessungsschnittgrößen**

Folgende Lastfallkombinationen sind zu untersuchen (Wind ohne Verkehr wird aufgrund der geringen Lastgröße nicht maßgebend):

LK1 Eigengewicht

LK2 Eigengewicht + Verkehrslast

LK3 Eigengewicht + Verkehrslast +  $\psi_0 \cdot$  (Wind mit Verkehr)

LK4 Eigengewicht + Wind mit Verkehr +  $\psi_0 \cdot$  (Verkehrslast)

Das Maximum für  $q_d/k_{mod}$  definiert die maßgebende Lastfallkombination.

LK	$q_d$ [kN/m]	$k_{mod}$	$q_d / k_{mod}$ [kN/m]
1	$1,35 \cdot 2,5 = 3,38$	0,6	5,63
2	$1,35 \cdot 2,5 + 1,5 \cdot 4,4 = 9,98$	0,9	<b>11,08</b>
3	$1,35 \cdot 2,5 + 1,5 \cdot (4,4 + 0,3 \cdot 2,14) = 10,94$	1,0	10,94
4	$1,35 \cdot 2,5 + 1,5 \cdot (2,14 + 0,4 \cdot 4,4) = 8,75$	1,0	8,75

Maßgebend wird LK2.

Bemessungswert des Biegemomentes:

$$\max M_d = 1,35 \cdot M_{g,k} + 1,5 \cdot M_{q,k} = 1,35 \cdot 125 + 1,5 \cdot 220 = 498,75 \text{ kNm}$$

Zugehörige Normalkraft:

$$\text{zug } N_d = 1,35 \cdot N_{g,k} + 1,5 \cdot N_{q,k} = 1,35 \cdot 0 + 1,5 \cdot 9,15 = 13,73 \text{ kN}$$

Bemessungswert der Querkraft:

$$\max V_d = 1,35 \cdot V_{g,k} + 1,5 \cdot V_{q,k} = 1,35 \cdot 25 + 1,5 \cdot 44 = 99,75 \text{ kN}$$

## 7.4 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

### 7.4.1 Biegung mit Normalkraft

Biegespannungen:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{49875 \text{ kNcm} \cdot 6}{22 \cdot 120^2 \text{ cm}^3} = 0,94 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Druckspannung:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A_n} = \frac{13,73 \text{ kN}}{22 \cdot 120 \text{ cm}^2} = 0,005 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Aufgrund der geringen Größe wird der Normalspannungsanteil aus der Druckkraft im Nachweis vernachlässigt.

Biegefestigkeit:

$$f_{m,g,k} = 24 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 2,4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$f_{m,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,g,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{2,4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,3} = 1,66 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Biegespannungsnachweis:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,g,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,94 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,66 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,57 < 1$$

Stabilitätsnachweise:

Die Knickbeiwerte betragen:  $k_{c,y} = 0,842$  und  $k_{c,z} = 0,976$

Der Anteil aus Biegeknicken wird aufgrund der geringen Drucknormalspannung nicht maßgebend und daher vernachlässigt.

Die Hauptträger sind durch die Querriegel gegen Kippen im Abstand von 2,0 m gesichert. Der Kippbeiwert  $k_{crit}$  ergibt sich zu 1,0, der Kippnachweis wird daher nicht maßgebend. Gleiches gilt für die kombinierten Nachweise aus Biegeknicken und Kippen.

### 7.4.2 Schub

Schubspannung am Rechteckquerschnitt:

$$\tau_d = 1,5 \frac{V_{Ed}}{b_{ef} \cdot h}$$

$$\text{Mit } b_{ef} = k_{cr} \cdot b \quad \text{mit } k_{cr} = \frac{2,5}{3,5} = 0,714$$

$$\tau_{yd} = 1,5 \cdot \frac{99,75 \text{ kN}}{0,714 \cdot 22 \text{ cm} \cdot 120 \text{ cm}} = 0,08 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Schubfestigkeit:

$$f_{v,g,k} = 3,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

DIN EN 14080,  
Tab.4

DIN EN 1995-1-1, Gl.  
(6.11)

DIN EN 1995-1-1, Gl.  
(6.23) bis (6.29)

DIN EN 1995-1-1, Gl.  
(6.33) und (6.34)

DIN EN 1995-1-1, Gl.  
(6.13a), und DIN EN  
1995-1-1/NA, NDP  
zu 6.1.7 (2)

DIN EN 14080, Tab.  
4

$$f_{v,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,g,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{0,35 \frac{kN}{cm^2}}{1,3} = 0,24 \frac{kN}{cm^2}$$

Schubspannungsnachweis:

$$\frac{\tau_{y,d}}{f_{v,g,d}} = \frac{0,08 \frac{kN}{cm^2}}{0,24 \frac{kN}{cm^2}} = 0,33 < 1$$

DIN EN 1995-1-1, Gl. (6.13)

### 7.4.3 Auflagerkraft

Druckspannung senkrecht zur Faser:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}}$$

$$\frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} = \frac{99,75 kN}{22 cm \cdot (25 + 2 \cdot 3) cm} = 0,15 \frac{kN}{cm^2}$$

Es wird von einer Auflagerlänge von 25 cm ausgegangen. Die wirksame Kontaktlänge ergibt sich durch eine beidseitige Erhöhung um 3 cm.

DIN EN 1995-1-1, 6.1.5 Gl. (6.4)

DIN EN 1995-1-1, 6.1.5 (1)

Druckfestigkeit senkrecht zur Faser:

$$f_{c,90,g,k} = 2,5 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c,90,g,d} = 0,90 \cdot \frac{0,25 \frac{kN}{cm^2}}{1,3} = 0,17 \frac{kN}{cm^2}$$

DIN EN 14080, Tab. 4

Drucknachweis senkrecht zur Faser:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$$

Der Querdruckbeiwert  $k_{c,90}$  darf bei verteilten Lasten und Auflagerlängen bis 400 mm für Brettschichtholzträger mit 1,75 angenommen werden. Da im Abstand von 2,00 m Lasteinleitungspunkte angeordnet sind, wird nicht von einer gleichmäßig verteilten Last ausgegangen. Der Querdruckbeiwert wird mit 1,0 angesetzt.

DIN EN 1995-1-1, Gl. (6.3)

DIN EN 1995-1-1, 6.1.5 (4)

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} = \frac{0,15 \frac{kN}{cm^2}}{1,0 \cdot 0,17 \frac{kN}{cm^2}} = 0,88 < 1$$

### 7.4.4 Quersugnachweis

Der Anschluss der Querriegel an die Hauptträger erzeugt für die vertikalen Lasten eine Quersugbeanspruchung in den Hauptträgern. Für Queranschlüsse mit  $h_e/h > 0,7$  ist ein Quersugnachweis nicht erforderlich. Hier gilt:

$$h_e/h = 95 / 120 = 0,79 > 0,7$$

Der Quersugnachweis für die Hauptträger kann entfallen.

DIN EN 1995-1-1/NA, NCI zu 8.1.4 (NA.6)

### 7.4.5 Verbindungsmittel

Aufhängung der Querriegel an den Hauptträgern:

Auflagerkräfte aus Pos. 2:

$$\max F_{v,E,d} = 1,35 \cdot F_{g,k} + 1,5 \cdot F_{q,k} = 1,35 \cdot 0,44 kN \cdot 2 + 1,5 \cdot 8,15 kN \cdot 2 = 25,64 kN$$

Auflagerkräfte aus Querriegel (Pos. 3) und Verband:

$$\begin{aligned} \max F_{v,E,d} &= 1,35 \cdot F_{g,k} + 1,5 \cdot F_{q,k} = 1,35 \cdot (0,51 \text{ kN/m} \cdot \frac{1,38 \text{ m}}{2} + 0,15 \text{ kN/m} \cdot 2 \text{ m}) \\ &= 0,80 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gewählt: 2 Passbolzen M20, 4.6

(einschnittige Stahlblech-Holz-Verbindung mit dünnem Blech) mit

$$F_{v,R,d} = 13,26 \text{ kN/VM}$$

$n_{ef} = n$  für  $\alpha = 90^\circ$

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{(25,64 + 0,88) \text{ kN}}{2 \cdot 13,26 \text{ kN}} = 1$$

## 7.5 Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

### 7.5.1 Nachweis der Anfangsverformung

Kombinationsbeiwerte für die Verkehrslast  $q_k$ :  $\psi_0 = 0,4$  und  $\psi_2 = 0$

Kombinationsbeiwerte für Wind  $w_k$ :  $\psi_0 = 0,3$  und  $\psi_2 = 0$

**Nachweis Gesamtdurchbiegung:**

$$w_{inst} = w_{g,inst} + w_{q,1,inst} + \sum_{i=2}^n \psi_{0,i} \cdot w_{q,i,inst} \leq \frac{l}{300}$$

Bemessungsrelevant wird die Lastkombination  $g_k + q_{fk} + w_{x,2,k,v}$ .

$$w_{inst} = 13,2 \text{ mm} + 23,1 \text{ mm} + 0,3 \cdot 11,3 \text{ mm} = 39,7 \text{ mm} < \frac{20000 \text{ mm}}{300} = 66 \text{ mm}$$

**Nachweis Durchbiegung aus Verkehrslast:**

$$w_{q,inst} \leq \frac{l}{400}$$

$$w_{q,inst} = 23,1 \text{ mm} < \frac{l}{400} = \frac{20000 \text{ mm}}{400} = 50 \text{ mm}$$

### 7.5.2 Nachweis der Enddurchbiegung

Kriechbeiwert  $k_{def} = 0,8$  für Brettschichtholz in Nutzungsklasse 2

**Nachweis der Gesamtdurchbiegung:**

$$\begin{aligned} w_{fin} &= w_{g,inst} \cdot (1 + k_{def}) + w_{q,1,inst} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) \\ &\quad + \sum_{i=2}^n w_{q,i,inst} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} \cdot k_{def}) \leq \frac{l}{200} \end{aligned}$$

Bemessungsrelevant wird die Lastkombination  $g_k + q_{fk} + w_{x,2,k,v}$ .

$$\begin{aligned} w_{fin} &= 13,2 \text{ mm} \cdot (1 + 0,8) + 23,1 \text{ mm} \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) + 11,3 \text{ mm} \cdot (0,3 + 0 \cdot 0,8) \\ &= 50,3 \text{ mm} < \frac{l}{200} = \frac{20000 \text{ mm}}{200} = 100 \text{ mm} \end{aligned}$$

**Nachweis der Netto-Enddurchbiegung:**

$$w_{net,fin} = w_{g,inst} \cdot (1 + k_{def}) + \sum_{i=1}^n w_{q,i,inst} \cdot \psi_{2,i} \cdot (1 + k_{def}) - w_c \leq \frac{l}{300}$$

Da der quasi-ständige Anteil sämtlicher Einwirkungen aus Verkehr  $\psi_2 = 0$  ist, ergibt

DIN EN 1990, Tab. A2.2

DIN EN 1995-1-1/NA, Tab. NA.13, Z.1

DIN EN 1995-2/NA, NDP zu DIN EN 1995-2, 7.2 und Tab. 7.1

DIN EN 1995-1-1, Tab. 3.2

sich die Netto-Enddurchbiegung nur aus Eigenlasten abzüglich der Überhöhung.

Die Hauptträger werden für die Durchbiegung aus Eigenlast und dem häufigen Anteil der Verkehrslast  $\psi_1 = 0,4$  überhöht:

$$w_c = 13,2\text{mm} \cdot (1 + 0,8) + 0,4 \cdot 23,1\text{mm} = 33\text{mm}$$

$$w_{net,fin} = 13,2\text{mm} \cdot (1 + 0,8) - 33\text{mm} = -9\text{mm} < \frac{l}{300} = \frac{20000\text{mm}}{300} = 66\text{mm}$$

Damit verbleibt auch über die Nutzungsdauer eine minimale Trägerüberhöhung.

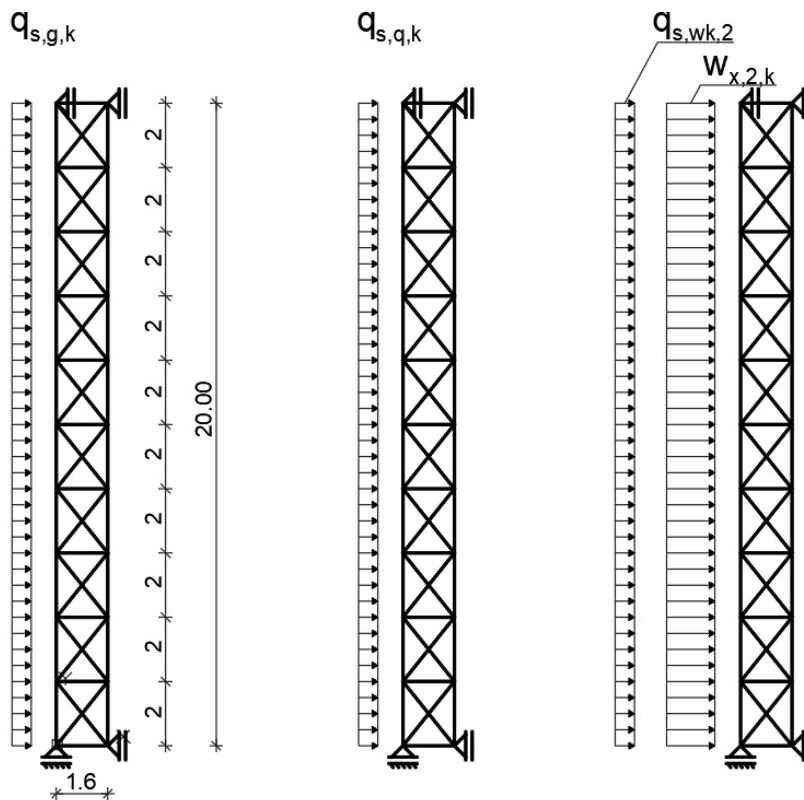
## 8 Position 5: Wind- und Aussteifungsverband

### 8.1 System und Belastung

Der liegende Wind- und Aussteifungsverband besteht aus den Hauptträgern als Gurte, den Querriegeln als Pfosten und zwei gekreuzten stählernen Zugdiagonalen je Verbandsfeld. Er wird in Höhe der Schwerachse der Querriegel angeordnet.

Die maximale Belastung resultiert aus dem Lastfall „Wind mit Verkehr“ mit

$$w_{x,2,res} = 1,44 \text{ kN/m}^2 \cdot 3,33 \text{ m} = 4,80 \text{ kN/m}$$



Stabilisierungslasten aus den Hauptträgern

charakteristische Biegemomente aus der Bemessung der Hauptträger:

$$M_{gk} = 125 \text{ kNm}$$

$$M_{qk} = 220 \text{ kNm}$$

$$M_{wk,2} = 107 \text{ kNm}$$

DIN EN 1995-1-1,  
9.2.5.2

Mit  $N_k = (1 - k_{crit}) \cdot \frac{M_k}{h}$  und  $k_{crit} = 0,63$  (aus Nebenrechnung)

ergeben sich die mittleren Druckkräfte im Hauptträger zu:

$$N_{gk} = 38,54 \text{ kN}$$

$$N_{qk} = 67,83 \text{ kN}$$

$$N_{wk,2} = 33,00 \text{ kN}$$

Die Stabilisierungslasten ergeben sich aus

$$q_{s,k} = k_l \cdot \frac{n \cdot N_k}{k_{f,3} \cdot l} \text{ mit}$$

$$k_{f,3} = 30 \text{ und}$$

$$k_l = \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \sqrt{\frac{15}{l}} = \sqrt{\frac{15}{20}} = 0,87 \end{array} \right.$$

$$q_{s,k} = 0,87 \cdot \frac{2 \cdot N_k}{30 \cdot 20}$$

$$q_{s,g,k} = 0,11 \text{ kN/m}$$

$$q_{s,q,k} = 0,20 \text{ kN/m}$$

$$q_{s,wk,2} = 0,10 \text{ kN/m}$$

## 8.2 Schnittgrößen und Nachweise

Die Druck- und Zugnormalkräfte in den Gurten des Verbandes sind bei der Bemessung der Hauptträger zu berücksichtigen.

$$\max N_{c,0,d} = \max N_{t,0,d} = 233 \text{ kN}$$

Daraus ergibt sich eine maximale Normalspannung von:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A_n} = \frac{233 \text{ kN}}{22 \cdot (120 - 2 \cdot 1,6) \text{ cm}^2} = 0,09 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Bei der Dimensionierung der Hauptträger wurden ausreichende Reserven im Biegespannungsnachweis berücksichtigt, so dass die Normalkräfte aus der Verbandsberechnung sicher aufgenommen werden.

Die Druckkräfte in den Verbandspfosten sind bei der Bemessung des Querriegels zu berücksichtigen.

$$\max N_{c,d} = 9 \text{ kN}$$

In den Verbandsdiagonalen tritt eine maximale Zugkraft auf von:

$$\max N_{t,d} = 56 \text{ kN}$$

Hierfür ist ein Zugankersystem auszuwählen. Eine Abstufung der Zugstabquerschnitte über die Tragwerkslänge ist sinnvoll, da die Zugkräfte in den inneren Verbandfeldern deutlich geringer sind.

Die horizontale Durchbiegung des liegenden Verbandes ist auf  $L/500 = 4 \text{ cm}$  zu begrenzen. Die Verbandsdurchbiegung in der seltenen Bemessungskombination beträgt  $24,7 \text{ mm}$  und ist damit geringer als der empfohlene Grenzwert.

Auf die einzelnen Nachweise am Verband wird nicht detailliert eingegangen.

Aufgrund der hohen Windangriffsfläche im Lastfall „Wind mit Verkehr“ und dem geringen Achsabstand der Hauptträger ist eine Zugsicherung an den Auflagern vorzusehen, da das geringe Eigengewicht das Moment aus Wind nicht überdrückt.

**DIN EN 1995-1-1**, Gl. (9.36) und Gl. (6.34)

**DIN EN 1995-1-1**, Gl. (9.37)

**DIN EN 1995-1-1/NA**, Tab. NA.21

**DIN EN 1995-1-1**, Gl. (9.38)

**DIN EN 1995-1-1**, 9.2.5.3 (2)

## Musterstatik für Holzbrücken - Beispiel Trogbrücke

### Verfasser

Die Erarbeitung der Musterstatiken für Holzbrücken erfolgte im Rahmen des Forschungsprojektes „Entwicklung einheitlicher Richtlinien für den Entwurf, den Bau, die Überwachung und Prüfung geschützter Holzbrücken – Protected Timber Bridges (ProTimB)“. Das Projekt wurde finanziert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung, den Firmen der Qualitätsgemeinschaft Holzbrückenbau e.V. und dem Ingenieurbüro Setzpfandt Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG.

Projektleitung und Forscherteam:

Prof. Dr.-Ing. Antje Simon	Fachhochschule Erfurt
Prof. Dr.-Ing. Ralf Arndt	Fachhochschule Erfurt
Dr.-Ing. Markus Jahreis	Fachhochschule Erfurt
Johannes Koch	Fachhochschule Erfurt



# Inhaltsverzeichnis

1	Vorbemerkungen .....	4
1.1	Grundlagen .....	4
1.2	Bauwerksbeschreibung .....	4
1.3	Bauwerksskizze .....	5
1.4	Normen und Literatur .....	7
1.5	Abkürzungen .....	8
2	Einwirkungen .....	9
2.1	Ständige Einwirkungen .....	9
2.1.1	Ständige Einwirkung infolge Eigenlast .....	9
	Aufbau des Brückenbelags .....	9
	Längsträger für den Brückenbelag .....	9
	Stahlbauteile .....	9
	Hauptträger .....	10
2.1.2	Ständige Einwirkung infolge Baugrundbewegung (Setzung) .....	10
2.2	Veränderliche Einwirkungen .....	10
2.2.1	Veränderliche Einwirkung infolge Verkehr .....	10
	Lastmodell gleichmäßig verteilte Verkehrslast .....	10
	Lastmodell konzentrierte Einzellast .....	10
	Lastmodell Dienstfahrzeug .....	11
	Horizontallast infolge Verkehr .....	11
	Außergewöhnliche Einwirkungen infolge Verkehr .....	12
	Dynamisches Modell für Fußgängerbrücken .....	12
2.2.2	Veränderliche Einwirkung infolge Schnee .....	12
2.2.3	Veränderliche Einwirkung infolge Wind .....	12
2.2.4	Veränderliche Einwirkung infolge Temperatur- und Feuchteeinwirkungen .....	14
2.2.5	Veränderliche Einwirkung infolge Lagerwechsel .....	15
2.2.6	Außergewöhnliche Einwirkung infolge Erdbeben .....	15
2.2.7	Ermüdung .....	15
2.3	Teilsicherheitsbeiwerte, Kombinationsbeiwerte und Klassen der Lasteinwirkungsdauer .....	15
3	Position 1: Belagträger - Furnierschichtholz .....	16
3.1	System und Belastung .....	16
3.2	Charakteristische Schnittgrößen .....	17
3.3	Bemessungsschnittgrößen .....	17
3.4	Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit .....	18
3.4.1	Biegung .....	18
3.4.2	Schub .....	18
3.4.3	Auflagerkraft .....	19
3.4.4	Verbindungsmittel .....	19
3.5	Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit .....	20

3.5.1	Nachweis der Anfangsverformung .....	20
3.5.2	Nachweis der Endverformung .....	20
4	Position 2: Längsträger.....	21
4.1	System und Belastung.....	21
4.2	Charakteristische Schnittgrößen .....	22
4.3	Bemessungsschnittgrößen .....	22
4.4	Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit.....	22
4.4.1	Biegung.....	22
4.4.2	Schub.....	23
4.4.3	Auflagerkraft .....	23
4.4.4	Verbindungsmittel.....	23
4.5	Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.....	24
4.5.1	Nachweis der Anfangsverformung .....	24
4.5.2	Nachweis der Endverformung .....	24
5	Position 3: Querrahmen.....	25
5.1	System und Belastung.....	25
5.2	Schnittgrößen und Bemessung .....	27
6	Position 4: Hauptträger .....	27
6.1	System und Belastung.....	27
6.2	Charakteristische Schnittgrößen .....	28
6.3	Bemessungsschnittgrößen .....	29
6.4	Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit.....	29
6.4.1	Biegung mit Normalkraft .....	29
6.4.2	Schub.....	30
6.4.3	Auflagerkraft .....	31
6.4.4	Querzugnachweis .....	31
6.4.5	Verbindungsmittel.....	31
6.5	Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.....	32
6.5.1	Nachweis der Anfangsverformung .....	32
6.5.2	Nachweis der Enddurchbiegung.....	32
7	Position 5: Wind- und Aussteifungsverband.....	33
7.1	System und Belastung.....	33
7.2	Schnittgrößen und Nachweise.....	33

# 1 Vorbemerkungen

## 1.1 Grundlagen

Das vorliegende Dokument beinhaltet die wesentlichen holzbauspezifischen Teile eines prüffähigen Standsicherheitsnachweises für eine einfache Trogbrücke in Holzbauweise. Es soll Ingenieuren der Tragwerksplanung als Arbeitshilfe bei der statischen Berechnung von Holzbrücken dienen. Grundkenntnisse der Lastannahmen im Brückenbau auf der Basis des semiprobabilistischen Sicherheitskonzeptes sowie in der Bemessung von Holztragwerken werden vorausgesetzt.

Das Beispiel basiert auf den Eurocodes EC 0, EC 1 und EC 5 inklusive der Nationalen Anhänge sowie den Normen zu den Verbindungsmitteln, zum Material Holz und zum Korrosionsschutz (Stand Mai 2019). Jeder Abschnitt der Lastannahmen und der statischen Berechnung ist mit einer Referenzierung auf den jeweils zugehörigen Normenabschnitt versehen. Dieser direkte Normenbezug erleichtert die Nachvollziehbarkeit und ermöglicht eine effektive Einarbeitung in die Thematik für die Anwender.

Die vorliegende Statik umfasst nur die holzbauspezifischen Nachweise des Überbaus bis OK Lager. Stahlbau- und Detailnachweise sowie Nachweise für Lager und Unterbauten werden nicht geführt.

## 1.2 Bauwerksbeschreibung

Die Trogbrücke des Berechnungsbeispiels befindet sich in Erfurt und führt über einen Fluss. Sie weist eine Stützweite von 20,00 m auf. Im Grundriss verläuft die Brücke gerade. Aufgrund der Breite zwischen den Geländern von 2,00 m ist das Bauwerk nur für die Nutzung als Geh- und Radwegbrücke vorgesehen. Das Befahren der Brücke durch Servicefahrzeuge oder außerplanmäßigen Verkehr wird dauerhaft durch die feste Installation von Pollern verhindert.

Die Brücke ist als geschützte Holzbrücke nach DIN EN 1995-2/NA konstruiert. Hinterlüftete seitliche Verschalungen und eine obere Abdeckung schützen die hölzernen Hauptträger vor direkter Bewitterung. Eine geschlossene Fahrbahndecke aus zweilagigem Gussasphalt auf Dichtung und Grundierung dient der als Belagträger eingesetzten Furnierschichtholzplatte und den Längsträgern als konstruktiver Schutz. Zum Schutz vor Insektenbefall werden gemäß DIN 68800-1 und in Anwendung der Musterzeichnungen für Holzbrücken sämtliche Holzelemente im Herstellungsprozess technisch getrocknet und sämtliche Hinterlüftungsebenen mit Insektenschutzgittern versehen. Die Querrahmen, die Diagonalen des Aussteifungsverbandes und die Geländerelemente bestehen aus Stahl.

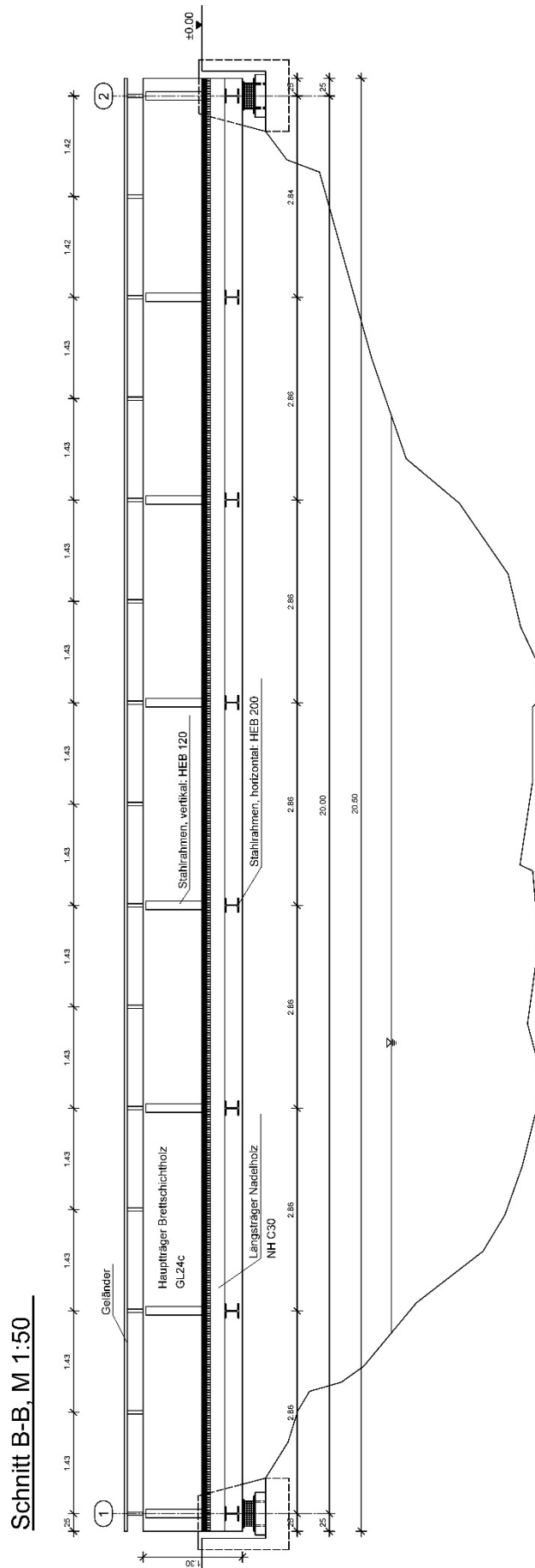
Die vertikalen Lasten werden von der 51 mm dicken Furnierschichtholzplatte aufgenommen und auf die darunterliegenden Längsträger 10/20 cm aus Nadelholz C30 verteilt. Die Festigkeits- und Steifigkeitswerte der Furnierschichtholzplatte sind einer Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (AbZ) entnommen. Im Abstand von 2,86 m liegen die Längsträger auf stählernen Querrahmen auf. Diese Querrahmen dienen neben der Weiterleitung der vertikalen Lasten an die Hauptträger der Aufnahme der Horizontallasten in Brückenquerrichtung und der Kippstabilisierung der Hauptträger. Die beiden Hauptträger mit dem Querschnitt 20/130 cm bestehen aus Brettschichtholz GL24c. Die Lasteinleitung aus den Querrahmen in die Hauptträger erfolgt über den oberen Anschlusspunkt der Querrahmen. Um eine Querkraftbeanspruchung der Hauptträger aus Schwinden quer zur Trägerhöhe zu vermeiden, wird der untere Anschlusspunkt mit vertikalem Langloch ausgebildet. Abweichend davon ist an den beiden Auflagerquerrahmen zur Einleitung der Auflagerkräfte das vertikale Langloch am oberen Anschlusspunkt der Hauptträger anzuordnen.

Hauptträger, Querrahmen und Stahldiagonalen sind Bestandteile des Wind- und Aussteifungsverbandes, der in Höhe der Querriegelachse unterhalb der Gehbahn angeordnet wird.

Die Geländerhöhe beträgt aufgrund der Nutzung durch Radfahrer 1,30 m über OK Gehbahn.

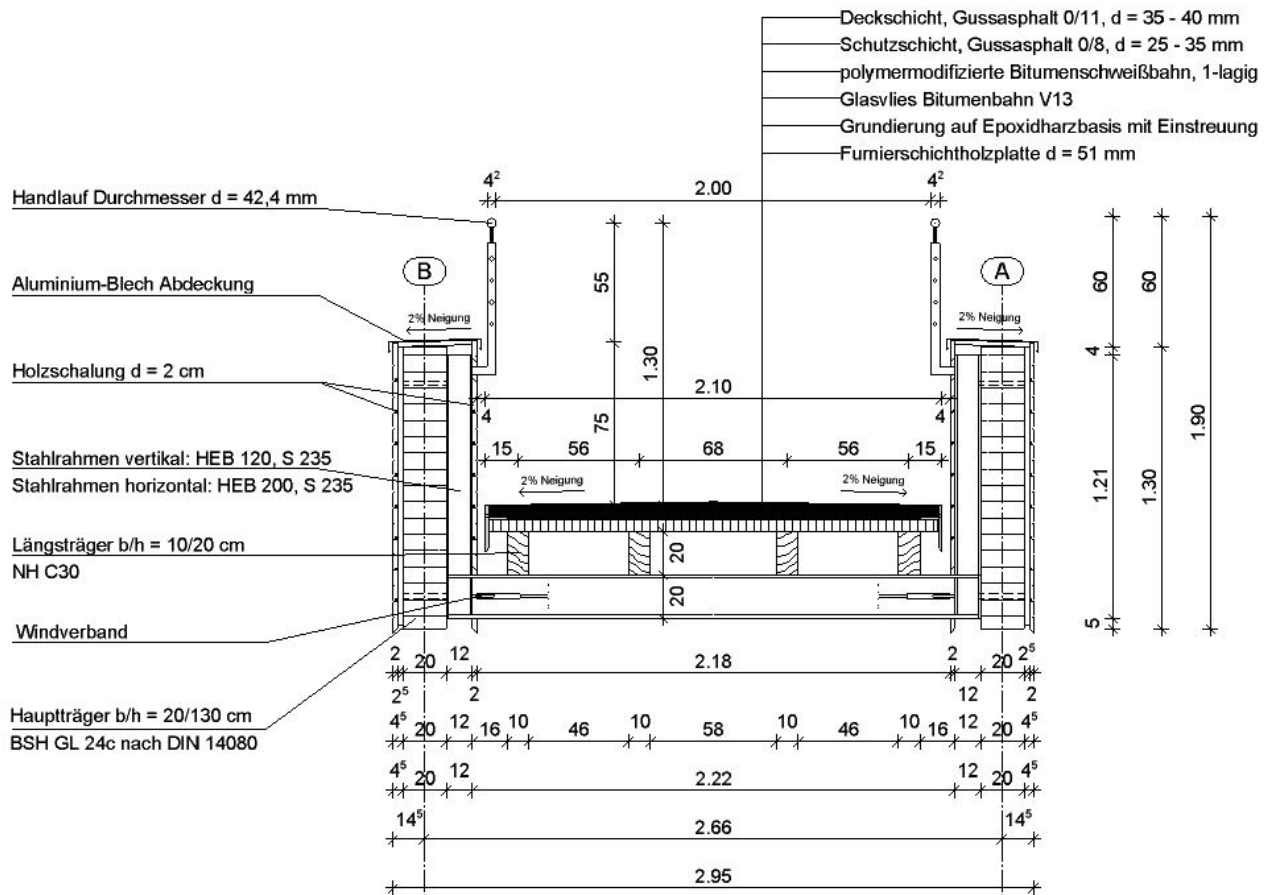
### 1.3 Bauwerksskizze

#### Längsschnitt



Regelquerschnitt

Schnitt A-A



## 1.4 Normen und Literatur

DIN EN 1990:2010-12: Grundlagen der Tragwerksplanung.

DIN EN 1990 NA:2010-12: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung.

DIN EN 1990 NA/A1:2012-08: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Änderung A1.

DIN EN 1991-1-1:2010-12: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau.

DIN EN 1991-1-1/NA:2010-12: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau.

DIN EN 1991-1-3:2010-12: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen – Schneelasten.

DIN EN 1991-1-3/A1:2015-12: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen – Schneelasten; Deutsche Fassung EN 1991-1-3:2003/A1:2015.

DIN EN 1991-1-3/NA:2019-04: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen – Schneelasten.

DIN EN 1991-1-4:2010-12: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten.

DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten.

DIN EN 1991-1-5:2010-12: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-5: Allgemeine Einwirkungen – Temperatureinwirkungen.

DIN EN 1991-1-5/NA:2010-12: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-5: Allgemeine Einwirkungen – Temperatureinwirkungen.

DIN EN 1991-1-7:2010-12: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-7: Allgemeine Einwirkungen – Außergewöhnliche Einwirkungen.

DIN EN 1991-1-7/A1:2014-08: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-7: Allgemeine Einwirkungen – Außergewöhnliche Einwirkungen; Deutsche Fassung EN 1991-1-7:2006/A1:2014.

DIN EN 1991-1-7/NA:2010-12: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-7: Allgemeine Einwirkungen – Außergewöhnliche Einwirkungen.

DIN EN 1991-2:2010-12: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken.

DIN EN 1991-2/NA:2012-08: Eurocode 1: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken.

DIN EN 1995-1-1:2010-12: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau.

DIN EN 1995-1-1/A2:2014-07: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten –Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau - Änderung1.

DIN EN 1995-1-1/NA:2013-08: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau.

DIN EN 1995-2:2010-12: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 2: Brücken.

DIN EN 1995-2/NA:2011-08: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 2: Brücken.

DIN EN 338:2016-07: Bauholz für tragende Zwecke – Festigkeitsklassen. Deutsche Fassung EN 338:2016.

DIN EN 14080:2013-09: Holzbauwerke – Brettschichtholz und Balkenschichtholz – Anforderungen; Deutsche Fassung EN 14080:2013.

DIN 68800-1:2011-10: Holzschutz - Teil 1: Allgemeines.

DIN 20000-1:2017-06: Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 1: Holzwerkstoffe.

DIN 1025-2:1995-11: Warmgewalzte I-Träger – Teil 2: I-Träger, IPB-Reihe, Maße, Masse, statische Werte.

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Allgemeines Rundschreiben Straßenbau (ARS) 22/2012.

Informationsdienst Holz: Musterzeichnungen für Holzbrücken. holzbau handbuch Reihe 1, Teil 9, Folge 3, Februar 2019.

Simon, A.; Arndt, R.; Jahreis, M.; Koch, J.: Empfehlungen für Technische Vertragsbedingungen für Holzbrücken – ETV-HolzBr. Juni 2019.

DIN EN 10219-2:2019-07: Kaltgeformte geschweißte Hohlprofile für den Stahlbau – Teil 2: Grenzabmaße, Maße und statische Werte; Deutsche Fassung EN 10219-2:2019.

## 1.5 Abkürzungen

GZT	Grenzzustand der Tragfähigkeit
GZG	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
STR	Tragwerks- oder Querschnittsversagen (structural)
S/V	ständige und vorübergehende Bemessungssituation
A	außergewöhnliche Bemessungssituation
KLED	Klasse der Lasteinwirkungsdauer
AbZ	Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung
VM	Verbindungsmittel
SF	Scherfuge

## 2 Einwirkungen

### 2.1 Ständige Einwirkungen

#### 2.1.1 Ständige Einwirkung infolge Eigenlast

Die Eigenlast der Bauteile wird in den jeweiligen Einzelpositionen berücksichtigt.

##### Aufbau des Brückenbelags

Deckschicht aus Gussasphalt 0,23 kN/m <sup>2</sup> je cm Dicke · 4,0 cm	= 0,92 kN/m <sup>2</sup>
Schutzschicht aus Gussasphalt 0,23 kN/m <sup>2</sup> je cm Dicke · 3,5 cm	= 0,81 kN/m <sup>2</sup>
Polymerbitumenbahn, 1-lagig, geklebt 0,07 kN/m <sup>2</sup> je Lage	= 0,07 kN/m <sup>2</sup>
Glasvlies Bitumenbahn, 1-lagig, geklebt 0,05 kN/m <sup>2</sup> je Lage · 1 Lage	= 0,05 kN/m <sup>2</sup>
Furnierschichtholzplatte, Dicke d = 51 mm 5,3 kN/m <sup>3</sup> · 0,051 m	= <u>0,27 kN/m<sup>2</sup></u>
	<b><math>g_{k, \text{Belag}} = 2,12 \text{ kN/m}^2</math></b>

**DIN EN 1991-1-1/NA**, Tab. NA.A.18, Z. 3

**DIN EN 1991-1-1/NA**, Tab. NA.A.18, Z. 3

**DIN EN 1991-1-1/NA**, Tab. NA.A.27, Z. 7

**DIN EN 1991-1-1/NA**, Tab. NA.A.27, Z. 10

**DIN 20000-1**, Tab. 2 Z. 14

##### Längsträger für den Brückenbelag

Querschnitt 10/20 cm, NH C30 4,6 kN/m <sup>3</sup> · 0,10m · 0,20m	<b><math>g_{k, LT1} = 0,09 \text{ kN/m}</math></b>
---	--

**DIN EN 1991-1-1**, Tab. A.3

##### Stahlbauteile

HEB 120, S235 78,5 kN/m <sup>3</sup> · 34 · 10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup>	<b><math>g_{k, 120} = 0,27 \text{ kN/m}</math></b>
HEB 200, S235 78,5 kN/m <sup>3</sup> · 78,1 · 10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup>	<b><math>g_{k, 200} = 0,61 \text{ kN/m}</math></b>
Geländer Stahlrundrohr DxT 42,4x2,5mm 78,5 kN/m <sup>3</sup> · 3,13 · 10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup>	= 0,03 kN/m
Geländerstützen Stahlrundrohr DxT 42,4x2,5mm 78,5 kN/m <sup>3</sup> · 3,13 · 10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> · 0,55 m · 15 Stk. / 20m	= <u>0,01 kN/m</u>
	<b><math>g_{k, \text{Gel}} = 0,04 \text{ kN/m}</math></b>

**DIN EN 1991-1-1**, Tab. A.4

**DIN 1025-2**, Tab. 1

**DIN EN 1991-1-1**, Tab. A.4

**DIN 1025-2**, Tab. 1

**DIN EN 1991-1-1**, Tab. A.4;

**DIN EN 10219-2**, Tab.C.1

**DIN EN 1991-1-1**, Tab. A.4;

**DIN EN 10219-2**, Tab.C.1



**Hauptträger**

Querschnitt 20/130 cm, BSH GL24c  
 $3,5 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,20 \text{ m} \cdot 1,30 \text{ m} = 0,91 \text{ kN/m}$

Schalung  $d = 2 \text{ cm}$ , NH C24  
 $4,2 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,02 \text{ m} \cdot 1,30 \text{ m} \cdot 2 \text{ Seiten je Träger} = 0,22 \text{ kN/m}$

Alublechabdeckung  
 pauschal  $= 0,07 \text{ kN/m}$   
 $g_{k,HT} = 1,20 \text{ kN/m}^2$

**DIN EN 1991-1-1**,  
 Tab. A.3

**DIN EN 1991-1-1**,  
 Tab. A.3

**2.1.2 Ständige Einwirkung infolge Baugrundbewegung (Setzung)**

Aufgrund der Ausbildung des Überbaus als gelenkig gelagerter Einfeldträger treten infolge einer achsweise anzusetzenden Stützensenkung keine Zwangsschnittgrößen auf. Einwirkung infolge Baugrundbewegung sind daher nicht anzusetzen.

**2.2 Veränderliche Einwirkungen****2.2.1 Veränderliche Einwirkung infolge Verkehr****Lastmodell gleichmäßig verteilte Verkehrslast**

Als gleichmäßig verteilte Verkehrslast ist

$$q_{fk} = 5 \text{ kN/m}^2$$

infolge einer Menschenansammlung anzusetzen.

Die Last darf in Abhängigkeit von der Stützweite reduziert werden auf:

$$2,5 \text{ kN/m}^2 \leq q_{fk} = \left(2,0 + \frac{120}{L + 30}\right) \text{ kN/m}^2 \leq 5,0 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{fk} = \left(2,0 + \frac{120}{20 + 30}\right) \text{ kN/m}^2 = 4,4 \text{ kN/m}^2$$

**DIN EN 1991-2**,  
 5.3.2.1, (2)

**Lastmodell konzentrierte Einzellast**

Als konzentrierte Einzellast wird

$$Q_{fwk} = 10 \text{ kN}$$

mit einer quadratischen Aufstandsfläche von 0,1 m Seitenlänge berücksichtigt.

Die konzentrierte Einzellast darf auf eine Fläche bezogen werden, welche sich unter einem Lastausbreitungswinkel von 45° bis zur Achshöhe des Belagträgers ergibt.

Eine Abminderung dieser Einwirkung auf minimal 5 kN darf nach Abstimmung mit dem Bauherrn erfolgen, wenn das Befahren der Brücke durch dauerhafte Absperreinrichtungen ausgeschlossen wird.

Diese Einwirkung wird nur für lokale Nachweise berücksichtigt.

Das Lastmodell der konzentrierten Einzellast muss nicht angewendet werden, wenn ein Dienstfahrzeug berücksichtigt wird.

**DIN EN 1991-2**,  
 5.3.2.2, (1) mit **DIN EN 1991-2/NA**, NDP zu 5.3.2.2, (1) Anm.

**DIN EN 1995-2**, Tab. 5.2

**DIN EN 1991-2/NA**, NDP zu 5.3.2.2, (1) Anm.

**DIN EN 1991-2**,  
 5.3.2.2, (2)

**DIN EN 1991-2**,  
 5.3.2.2, (3)

**Lastmodell Dienstfahrzeug**

Wenn Dienstfahrzeuge auf der Brücke fahren können, ist deren Einwirkung  $Q_{serv}$  zu berücksichtigen. Die Eigenschaften des Lastmodells sind für das Einzelprojekt anzupassen.

Wenn keine genaueren Angaben vorhanden sind, kann als Einwirkung infolge von Dienstfahrzeugen das Lastmodell für unplanmäßige Anwesenheit von Fahrzeugen auf der Brücke angewendet werden.

Für ein bestimmtes Projekt können auch mehrere, sich gegenseitig ausschließende Dienstfahrzeuge mit unterschiedlichen Eigenschaften berücksichtigt werden.

Das Befahren der vorliegenden Brücke wird durch dauerhafte Absperreinrichtungen ausgeschlossen, weshalb das Lastmodell Dienstfahrzeug für dieses Projekt nicht angewendet wird.

**DIN EN 1991-2,**  
5.3.2.3, (1)P und  
Anm. 1

**DIN EN 1991-2,**  
5.3.2.3, (1)P und  
Anm. 3

**DIN EN 1991-2,**  
5.3.2.3, (1)P und  
Anm. 2

**Horizontallast infolge Verkehr**

Es wird eine Horizontallast in Brückenlängsrichtung, auf der Oberkante des Belages in Überbauachse wirkend, angesetzt.

Die horizontale Kraft ergibt sich aus dem größeren Wert der beiden folgenden Lastansätze:

- Gesamtlast aus 10 % der gleichmäßigen Belastung

$$Q_{flk,1} = 0,1 \cdot q_{fk} \cdot A_{Belag} = 0,1 \cdot 4,4 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,10 \text{ m} \cdot 20,50 \text{ m} = \mathbf{18,94 \text{ kN}}$$

- 60 % des Dienstfahrzeuges:

entfällt, da kein Dienstfahrzeug die Brücke befahren kann

**DIN EN 1991-2,** 5.4,  
(1)

**DIN EN 1991-2,** 5.4,  
(2)

**Geländerlast**

Für die Bemessung des Geländers wird an dessen Oberkante gleichzeitig eine vertikale und eine horizontale Last infolge des Lastmodells gleichmäßig verteilte Last angesetzt.

$$q_{Gelv} = \mathbf{1 \text{ kN/m}}$$

$$q_{Gelh} = \mathbf{1 \text{ kN/m}}$$

Die vertikale Geländerlast wird nur für die Geländer selbst und deren Befestigung angesetzt.

Für die Bemessung der die Geländer tragenden Bauteile ist die Horizontallast gleichzeitig mit der gleichmäßig verteilten Linienlast  $q_{fk}$  anzusetzen.

**DIN EN 1991-2/NA,**  
NDP zu 4.8 (1) Anm.  
2

**DIN EN 1995-2,** 4.8  
(2)

**Definition von Lastgruppen infolge Verkehr**

Die Einwirkungen infolge Verkehr sind gemäß folgender Definition als Lastgruppen gleichzeitig wirkend anzusetzen:

$$gr1: q_{fk} + Q_{flk}$$

$$gr2: Q_{serv} + Q_{flk}$$

Jede Lastgruppe ist bei Kombination mit anderen Einwirkungen als eine charakteristische Einwirkung zu betrachten.

Die beiden Lastgruppen schließen sich gegenseitig aus.

In diesem Beispiel wird nur Lastgruppe gr1 angesetzt, da das Lastmodell Dienstfahrzeug nicht zur Anwendung kommt.

**DIN EN 1991-2,** 5.5,  
(1)

**DIN EN 1991-2,** 5.5,  
(1)

**DIN EN 1991-2,** 5.5,  
(1)

### Außergewöhnliche Einwirkungen infolge Verkehr

Außergewöhnliche Einwirkungen für Fußgängerbrücken können sein:

- Anpralllasten aus Straßenverkehr unter der Brücke
- unplanmäßige Anwesenheit von Fahrzeugen auf der Brücke

**DIN EN 1991-2,**  
5.6.1(1)

**DIN EN 1991-2,**  
5.6.2

**DIN EN 1991-2,**  
5.6.3

Außergewöhnliche Einwirkungen infolge Verkehr werden auf der Beispielbrücke nicht berücksichtigt, da:

- die Brücke über ein Gewässer führt (keine Anpralllasten aus Straßenverkehr unter der Brücke) und
- das Befahren der Brücke durch dauerhafte Absperreinrichtungen verhindert wird (keine unplanmäßige Anwesenheit von Fahrzeugen auf der Brücke).

### Dynamisches Modell für Fußgängerbrücken

Wenn ein Schwingungsnachweis geführt werden muss, so sind in Abhängigkeit von den dynamischen Eigenschaften des Tragwerkes die Eigenfrequenzen mit den zugehörigen Vertikal-, Horizontal- und Torsionsschwingungen für das Haupttragwerk des Überbaus zu ermitteln.

**DIN EN 1991-2,** 5.7  
(1)

In der vorliegenden Musterstatik wird auf den Schwingungsnachweis verzichtet.

### 2.2.2 Veränderliche Einwirkung infolge Schnee

Der Aufstellort der Brücke befindet sich in Schneelastzone 2. Daraus ergibt sich die charakteristische Schneelast auf dem Boden:

$$s_k = 0,25 + 1,91 \cdot \left( \frac{A+140}{760} \right)^2 \geq 0,85 \text{ kN/m}^2$$

mit  $A = 194 \text{ m NN}$  (Geländehöhe am Aufstellort)

$$s_k = 0,25 + 1,91 \cdot \left( \frac{194+140}{760} \right)^2 = 0,62 \text{ kN/m}^2 < 0,85 \text{ kN/m}^2$$

$$s_k = 0,85 \text{ kN/m}^2$$

Die Schneelast ist nur bei gedeckten Geh- und Radwegbrücken mit der Verkehrslast zu kombinieren.

**DIN EN 1990/NA-**  
**A1,** A2.2.3 (3)

Da die Schneelast geringer ist als die Verkehrslast, wird die Schneelast im vorliegenden Beispiel nicht maßgebend und deshalb im Weiteren nicht betrachtet.

### 2.2.3 Veränderliche Einwirkung infolge Wind

Einwirkungen infolge Wind werden gemäß Abbildung 1 für die verschiedenen Anströmrichtungen definiert.

**DIN EN 1991-1-4**  
Bild 8.2

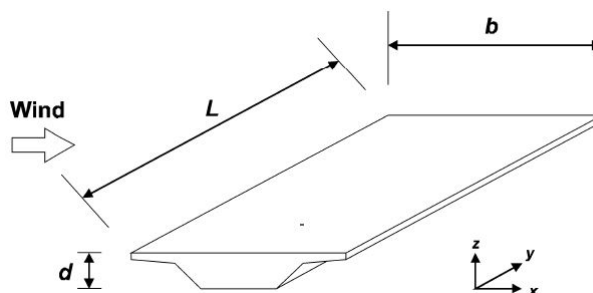


Abbildung 1: Richtungen der Windeinwirkungen bei Brückenüberbauten nach DIN EN 1991-1-4 Bild 8.2

Einwirkungen infolge Wind werden als quasi-statische Lasten angenommen, da die folgenden Rahmenbedingungen eingehalten sind:

- Die Spannweite ist mit  $20 \text{ m} \leq 40 \text{ m}$ .
- Es handelt sich um eine gewöhnliche Konstruktion aus Stahl, Beton, Aluminium oder Holz sowie Verbundkonstruktionen.
- Es handelt sich um einen Querschnitt eines normalen Brückenüberbaus gemäß Abbildung 2.

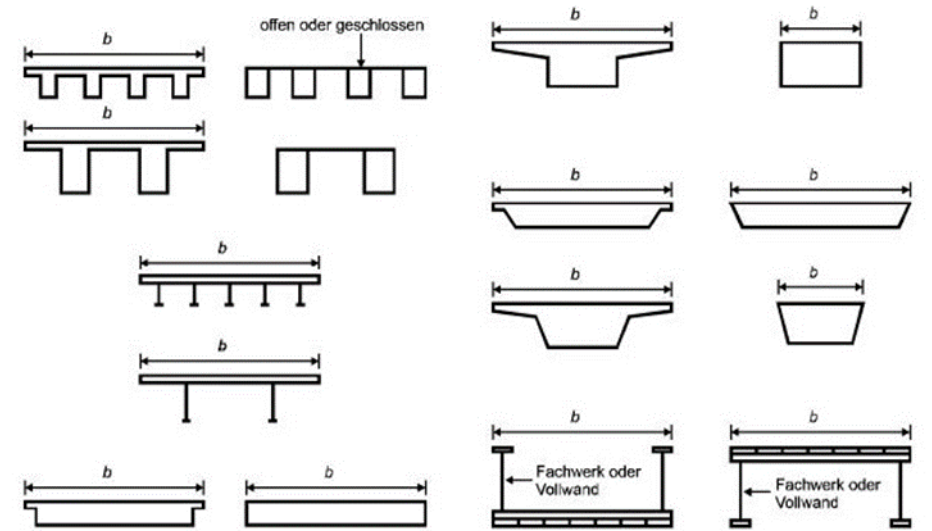


Abbildung 2: Beispiele für Querschnitte normaler Brückenüberbauten nach DIN EN 1995-1-4 Bild 8.1

Zur Windlastermittlung wird das Verfahren nach DIN EN 1991-4/NA Anhang NA.N angewendet.

Die Anwendungsgrenzen des Verfahrens sind eingehalten:

- Es handelt sich um eine übliche, nicht schwingungsanfällige Konstruktion.
- Die Höhe des Überbaus über Gewässer ist mit  $z = 3,30 \text{ m} \leq 100 \text{ m}$ .

Eingangswerte zur Windlastermittlung:

Der Aufstellort der Brücke befindet sich in Windzone 2, Binnenland.

#### Lastfall 1: Windlast ohne Verkehr

Dicke des Überbaus:  $\Sigma$ (Ansicht Träger, Fahrbahnen, Kappen, massive Schutzeinrichtung, jedes offene Geländer od. Leitplanke mit 0,30 m)

$$d_1 = 1,30 \text{ m} + 0,30 \text{ m} = 1,60 \text{ m}$$

(Geländeraufsatz aus offenem Stahlrohr)

Breite des Überbaus:

$$b = 2,95 \text{ m}$$

Verhältnis von Überbaubreite zu -höhe:

$$b/d_1 = 2,95 \text{ m} / 1,60 \text{ m} = 1,84$$

#### Lastfall 2: Windlast mit Verkehr

$$d_1 = 2,00 \text{ m} + 0,55 \text{ m} = 2,55 \text{ m}$$

(OK Belag bis UK Hauptträger = 0,55 m)

$$b = 2,95 \text{ m}$$

$$b/d_1 = 1,16$$

Höhe der Windlastresultierenden über Gelände oder mittlerem Wasserstand

$$z_e = z_{\text{Lichte}} + 0,5 d_1$$

$$z_{e,LF1} = 2,10 \text{ m} + 0,5 \cdot 1,60 \text{ m} = 2,90 \text{ m} < 20 \text{ m}$$

$$z_{e,LF2} = 2,10 \text{ m} + 0,5 \cdot 2,55 \text{ m} = 3,38 \text{ m} < 20 \text{ m}$$

DIN EN 1991-1-4,  
8.2 (1) Anm. 3

DIN EN 1991-1-4,  
Bild 8.1

DIN EN 1991-1-4/NA,  
Anhang NA.N

DIN EN 1991-1-4/NA  
Anhang NA.N,  
NA.N.1 (1) und (2)

DIN EN 1991-1-4,  
8.3.1 (4) a

DIN EN 1991-1-4,  
8.3.1 (5) a

DIN EN 1991-1-4,  
8.3.1 (6)

**Windlast in x-Richtung (horizontal seitlich auf Überbau)****Tabelle 1** Windeinwirkungen nach DIN EN 1991-1-4/NA, Tabelle NA.N.5

1	2	3	4	5	6	7
	Ohne Verkehr und ohne Lärmschutzwand			Mit Verkehr <sup>a</sup> oder mit Lärmschutzwand		
	auf Überbauten					
$b/d^b$	$\bar{z}_e \leq 20 \text{ m}$	$20 \text{ m} < \bar{z}_e \leq 50 \text{ m}$	$50 \text{ m} < \bar{z}_e \leq 100 \text{ m}$	$\bar{z}_e \leq 20 \text{ m}$	$20 \text{ m} < \bar{z}_e \leq 50 \text{ m}$	$50 \text{ m} < \bar{z}_e \leq 100 \text{ m}$
$\leq 0,5$	1,75	2,45	2,90	1,45	2,05	2,40
$= 4$	0,95	1,35	1,60	0,80	1,10	1,30
$\geq 5$	0,95	1,35	1,60	0,60	0,85	1,00
	auf Stützen und Pfeilern <sup>c</sup>					
$d/b^b$	$\bar{z}_e \leq 20 \text{ m}$		$20 \text{ m} < \bar{z}_e \leq 50 \text{ m}$		$50 \text{ m} < \bar{z}_e \leq 100 \text{ m}$	
$\leq 0,5$	1,70		2,35		2,80	
$\geq 5$	0,75		1,05		1,25	
<sup>a</sup>	Es gilt der Kombinationsbeiwert $\psi_0 = 0,4$ (Windzone 3+4) und $\psi_0 = 0,55$ (Windzone 1+2). Für Eisenbahnbrücken gilt der Kombinationsbeiwert $\psi_0 = 0,6$ .					
<sup>b</sup>	Bei Zwischenwerten kann linear interpoliert werden.					
<sup>c</sup>	Bei quadratischen Stützen- oder Pfeilerquerschnitten mit abgerundeten Ecken, bei denen das Verhältnis $r/d \geq 0,20$ beträgt, können die Windeinwirkungen auf Pfeiler und Stützen um 50 % reduziert werden. Für $0 < r/d < 0,2$ darf linear interpoliert werden. Hierbei ist $r$ = Radius der Ausrundung.					

**Lastfall 1: Windlast ohne Verkehr**

$$w_{x,1} = 1,44 \text{ kN/m}^2 \text{ (linear interpoliert)}$$

$$\text{Windlastresultierende: } w_{x,1,res} = 1,44 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,60 \text{ m} = \mathbf{2,30 \text{ kN/m}}$$

**Lastfall 2: Windlast mit Verkehr**

$$w_{x,2} = 1,33 \text{ kN/m}^2 \text{ (linear interpoliert)}$$

$$\text{Windlastresultierende: } w_{x,2,res} = 1,33 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,55 \text{ m} = \mathbf{3,39 \text{ kN/m}}$$

**Windlast in y-Richtung (horizontal in Brückenlängsrichtung)**

Für Vollwandbrücken sind 25 % der Windkraft in x-Richtung als Windbelastung in y-Richtung anzusetzen.

Lastfall 1: Windlast ohne Verkehr

$$W_{y,1,res} = 0,25 \cdot 1,44 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,60 \text{ m} \cdot 20,50 \text{ m} = 11,81 \text{ kN}$$

Lastfall 2: Windlast mit Verkehr

$$W_{y,2,res} = 0,25 \cdot 1,33 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,55 \text{ m} \cdot 20,50 \text{ m} = 17,38 \text{ kN}$$

Aufgrund der geringen Gesamtwindkräfte pro Hauptträger wird Wind in Längsrichtung bei der Bemessung der Hauptträger nicht berücksichtigt.

Bei der Dimensionierung der Festhaltekonstruktionen der Lager in Brückenlängsrichtung sind  $17,38 \text{ kN}/2 = 8,69 \text{ kN}$  Längskraft je Hauptträger aus Wind zu berücksichtigen.

**Windlast in z-Richtung (vertikal)**

Im vereinfachten Verfahren für nicht schwingungsanfällige Bauwerke nach Anhang NA.N kann auf den Ansatz einer Windlast in z-Richtung verzichtet werden.

**2.2.4 Veränderliche Einwirkung infolge Temperatur- und Feuchteeinwirkungen**

Für Holz gelten folgende Längenausdehnungskoeffizienten:

$$\alpha_{T,0} \approx 5 \cdot 10^{-6} \text{ m/K}; \alpha_{T,90} \approx 30 \dots 70 \cdot 10^{-6} \text{ m/K}$$

Auf den Ansatz einer Einwirkung infolge Temperatur darf bei reinen Holztragwerken verzichtet werden.

Quellen und Schwinden infolge Feuchteänderung müssen berücksichtigt werden,

**DIN EN 1991-1-4/NA**  
Anhang NA.N,  
Tabelle NA.N.5

**DIN EN 1991-1-3,**  
8.3.4

**DIN EN 1991-1-4/NA,** NDP zu 8.3.3  
(1) Anm. 1

**DIN EN 1991-1-5**  
Anhang C, Tabelle  
C.1

**DIN EN 1995-1-1/NA,** NDP zu  
2.3.1.2 (2)P

wenn Zwängungen durch Behinderung dieser Dehnungen entstehen können.

### 2.2.5 Veränderliche Einwirkung infolge Lagerwechsel

Aufgrund der Ausbildung des Überbaus als gelenkig gelagerter Einfeldträger treten infolge eines Lagerwechsels keine Zwangsschnittgrößen auf.

### 2.2.6 Außergewöhnliche Einwirkung infolge Erdbeben

Der Aufstellort des Bauwerks liegt nicht in einem Erdbebengebiet, es erfolgt keine Bemessung infolge von Einwirkungen aus Erdbeben.

### 2.2.7 Ermüdung

Ein Ermüdungsnachweis ist für die Bemessung von Geh- und Radwegbrücken im Allgemeinen nicht erforderlich. Ermüdungswirksame Einwirkungen aus Verkehr oder Wind treten an der Beispielbrücke nicht auf, der Ermüdungsnachweis entfällt daher.

## 2.3 Teilsicherheitsbeiwerte, Kombinationsbeiwerte und Klassen der Lasteinwirkungsdauer

**Tabelle 2** Teilsicherheitsbeiwerte und Klassen der Lasteinwirkungsdauer (Auszug aus DIN EN 1990/NA/A1, Tab. NA.A2.1 und DIN EN 1995-2/NA Tab. NA.1)

Einwirkung	Bezeichnung	$\gamma$ -Werte STR		KLED
		S/V	A	
Ständige Einwirkungen ungünstig günstig	$\gamma_{G,sup}$	1,35	1,0	ständig
	$\gamma_{G,inf}$	1,0	1,0	
Verkehrslasten <sup>a</sup> ungünstig günstig	$\gamma_{Q,sup}$	1,5	1,0	kurz
	$\gamma_{Q,inf}$	0	0	
Temperatur ungünstig günstig	$\gamma_{Q,sup}$	1,35	1,0	mittel
	$\gamma_{Q,inf}$	0	0	
Schnee, Wind <sup>b</sup> günstig ungünstig	$\gamma_{Q,sup}$	1,5	1,0	kurz bzw. mittel <sup>c</sup> kurz-sehr kurz <sup>d</sup>
	$\gamma_{Q,inf}$	0	0k	
Außergewöhnliche Einwirkungen	$\gamma_A$	-	1,0	sehr kurz

<sup>a</sup> für vertikale Einwirkungen aus Fußgängerverkehr: gem. ARS 22/2012, Anlage 2:  $\gamma_{Q,sup} = 1,5$  für S/V (STR) statt  $\gamma_{Q,sup} = 1,35$  nach DIN EN 1990/NA/A1 Tabelle NA.A2.1

für Menschenansammlungen und Dienstfahrzeug: gemäß ARS 22/2012, Anlage 2: gelten die Teilsicherheitsbeiwerte der Zeile „alle anderen veränderlichen Einwirkungen“ aus DIN EN 1990/NA/A1 Tabelle NA.A2.1

<sup>b</sup> Behandlung von Schnee und Wind als „alle anderen veränderlichen Einwirkungen“ der Tab. NA.A2.1

<sup>c</sup> abhängig von der Geländehöhe des Bauwerksstandortes

<sup>d</sup> Bei Wind darf der resultierende  $k_{mod}$ -Wert aus dem Mittel der  $k_{mod}$ -Werte für die KLED kurz und sehr kurz angesetzt werden.

DIN EN 1995-2, 6.2,  
(1)P, Anm. 1

$\gamma$ -Werte nach DIN EN  
1990/NA/A1, Tab.  
NA.A2.1

KLED nach DIN EN  
1995-2/NA, Tab.  
NA.1

Tabelle 3 Kombinationsbeiwerte nach DIN EN 1990-2, Tab. A2.2

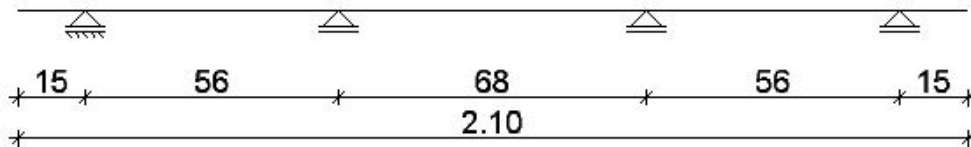
Einwirkung	Bezeichnung	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Verkehrslasten	gr1	0,4	0,4	0
	$Q_{fwk}$	0	0	0
	gr2	0	0	0
Windkräfte	$F_{wk}$	0,3	0,2	0
Temperatur	$T_k$	0,6 <sup>a</sup>	0,6	0,5
Schneelasten	$Q_{Sn,k}$ (während der Bauausführung)	0,8	-	0
Lasten aus Bauausführung	$Q_c$	1,0		1,0

<sup>a</sup> Der empfohlene Zahlenwert für  $\psi_0$  für thermische Einwirkungen kann für die Grenzzustände der Tragfähigkeit EQU, STR und GEO in den meisten Fällen auf 0 abgemindert werden. Siehe auch Eurocodes für die Bemessung

DIN EN 1990-2, Tab. A2.2

### 3 Position 1: Belagträger - Furnierschichtholz

#### 3.1 System und Belastung



Als Belagträger dient eine Furnierschichtholzplatte mit AbZ. Sie wird so verlegt, dass die Faserrichtung der Deckfurniere in Brückenquerrichtung verläuft.

Die Furnierschichtholzplatte hat eine Dicke von 51 mm. Die Mindestdicke von 20 mm für Tragbeläge aus Holzwerkstoffplatten ist damit eingehalten.

Die Aufstandsfläche der konzentrierten Einzellast beträgt 10 x 10 cm. Daraus ergibt sich bei einer Lastverteilung unter 45° eine Verteilungsbreite in der Mittelebene der Deckplatte von:

$$b_{w,middle,quer} = 10 \text{ cm} + 2 \cdot (6,5 + 2,5) \text{ cm} = 28 \text{ cm}$$

Auf der sicheren Seite liegend wird keine weitere Querverteilung der Last infolge Plattentragwirkung angesetzt.

Querschnitt:  $b/h = 28 / 5,1 \text{ cm}$

#### Eigenlast

$$2,12 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,28 \text{ m} \qquad g_k = 0,60 \text{ kN/m}$$

#### Verkehrslast

gleichmäßig verteilte Flächenlast (Menschenansammlung)

$$5,00 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,28 \text{ m} \qquad q_{fk} = 1,40 \text{ kN/m}$$

konzentrierte Einzellast verteilt auf 28 cm x 28 cm

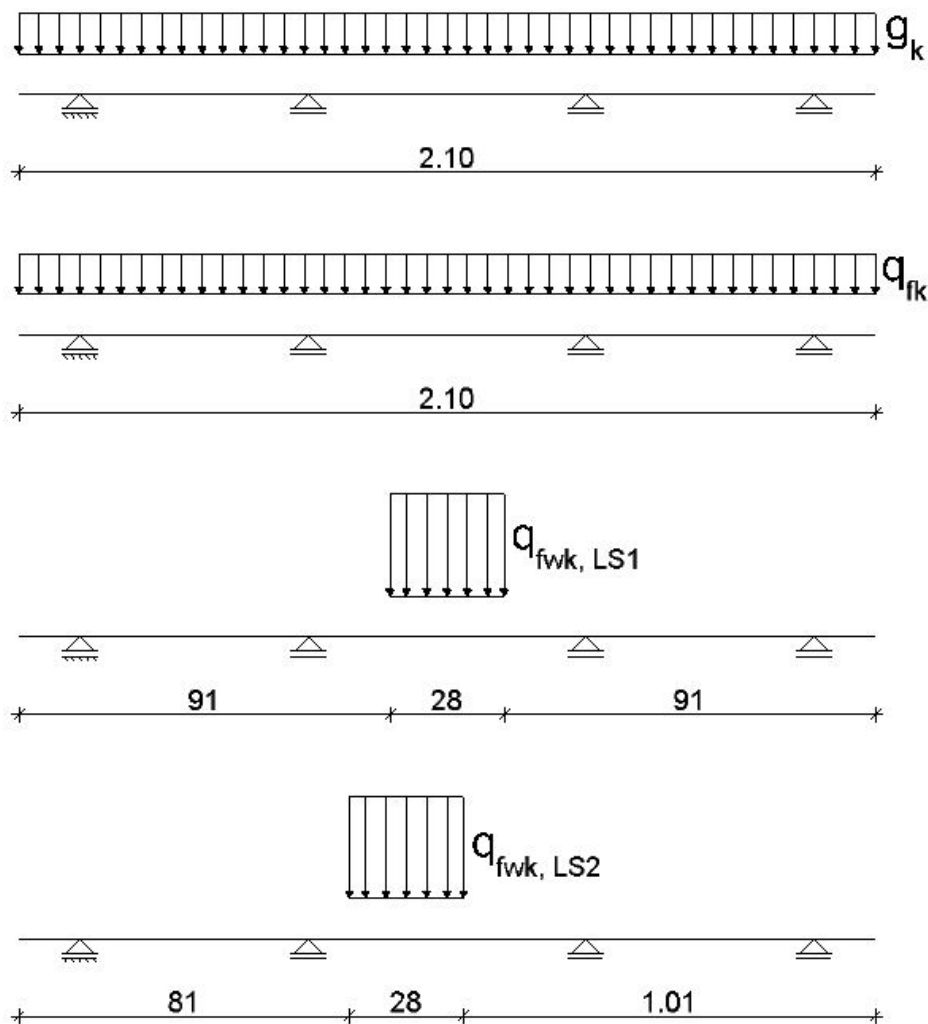
$$10 \text{ kN} / (0,28 \text{ m}) \qquad q_{fwk} = 35,71 \text{ kN/m}$$

Für die konzentrierte Einzellast werden die Laststellungen (LS) für die Lastfälle max M und max V untersucht.

Die horizontale Belastung aus der Verkehrslast wird im Nachweis der Furnierschichtholzplatte nicht berücksichtigt, da sie keine bemessungsrelevanten Schnittgrößen erzeugt. Sie ist lediglich bei der Dimensionierung der Verbindungsmittel der Deckplatte auf den Längsträgern zu berücksichtigen.

DIN EN 1995-2/NA, Tab. NA.2 Z. 7 SP. 2

DIN EN 1995-2, 5.1.2 mit Tab. 5.2 und Bild 5.1



Bei der Ermittlung der extremalen charakteristischen Schnittgrößen wird für den Lastfall  $q_{fk}$  die feldweise Belastung berücksichtigt.

### 3.2 Charakteristische Schnittgrößen

LF	max $M_k$ [kNm]	max $V_k$ [kN]	max $A_k$ [kN]	max $B_k$ [kN]	max $w$ [mm]	$k_{mod}$
$g_k$	0,01	0,20	0,23	0,40	0,01	0,6
$q_{fk}$	0,05	0,53	0,54*	1,03 0,93*	0,04	0,9
$q_{fwk}$	0,83	6,68	10	10	0,62	0,9

\* für Lastweiterleitung: Schnittgrößen unter Vollast (keine feldweise Belastung)

Die Furnierschichtholzplatte wird aufgrund der oberseitigen Abdichtung in Nutzungsklasse 2 eingeordnet. Daraus ergeben sich unter Berücksichtigung der Klassen der Lasteinwirkungsdauer die  $k_{mod}$ -Werte.

**DIN EN 1995-1-1**,  
Tab. 3.1

### 3.3 Bemessungsschnittgrößen

Eine Kombination der konzentrierten Einzellast mit anderen Verkehrslasten ist nicht erforderlich.

Bemessungsrelevant wird aufgrund der Lastgröße in allen Fällen die Lastkombination  $g_k + q_{fwk}$ . Für den Schub- und den Querdruknachweis wird Auflager B maßgebend.

**DIN EN 1990**,  
A2.2.3, (1)



Bemessungswert des Biegemomentes:

$$\max M_d = 1,35 \cdot M_{g,k} + 1,5 \cdot M_{q, f_{wk},1} = (1,35 \cdot 0,01 + 1,5 \cdot 0,83) = 1,26 \text{ kNm}$$

Bemessungswert der Querkraft:

$$\max V_d = 1,35 \cdot V_{g,k} + 1,5 \cdot V_{q, f_{wk},2} = 1,35 \cdot 0,20 \text{ kN} + 1,5 \cdot 6,68 \text{ kN} = 10,29 \text{ kN}$$

Bemessungswert der maximalen Auflagerkraft:

$$\max B_d = 1,35 \cdot B_{g,k} + 1,5 \cdot Q_{f_{wk}} = 1,35 \cdot 0,40 \text{ kN} + 1,5 \cdot 10 \text{ kN} = 15,54 \text{ kN}$$

### 3.4 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

#### 3.4.1 Biegung

Biegespannung:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{126 \text{ kNm} \cdot 6}{28 \cdot 5,1^2 \text{ cm}^3} = 1,04 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Biegefestigkeit parallel zur Faserrichtung der Deckfurniere bei Flachkantbiegung:

$$f_{m,k} = 50 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,3} = 3,46 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Biegespannungsnachweis:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{1,04 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{3,46 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,30 < 1$$

#### 3.4.2 Schub

Schubspannung am Rechteckquerschnitt:

$$\tau_d = 1,5 \frac{V_{red,Ed}}{b_{ef} \cdot h}$$

$$\text{Mit } b_{ef} = k_{cr} \cdot b \quad \text{mit } k_{cr} = 1,0$$

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{10,29 \text{ kN}}{1,0 \cdot 28 \text{ cm} \cdot 5,1 \text{ cm}} = 0,11 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Schubfestigkeit:

$$f_{v,k} = 2,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{0,26 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,3} = 0,18 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Schubspannungsnachweis:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{0,11 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{0,18 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,61 \leq 1$$

Nach AbZ

$\gamma_M$  nach AbZ

**DIN EN 1995-1-1**,  
Gl. (6.11) reduziert  
auf einachsige  
Biegung

**DIN EN 1995-1-1**,  
Gl. (6.13a), 6.1.7  
(2) Anm.

Nach AbZ

**DIN EN 1995-1-1**,  
Gl. (6.13)

### 3.4.3 Auflagerkraft

Druckspannung senkrecht zur Faser:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}}$$

$$\frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} = \frac{15,54 \text{ kN}}{10 \text{ cm} \cdot 28 \text{ cm}} = 0,06 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Aufgrund der minimalen Auslastung des Nachweises wird auf eine Erhöhung der Querdruckfläche verzichtet.

Druckfestigkeit senkrecht zur Faser:

$$f_{c,90,k} = 3,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{c,90,d} = 0,90 \cdot \frac{0,3 \text{ kN}}{1,3} = 0,21 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Drucknachweis senkrecht zur Faser:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$$

Da die Einzellast im maßgebenden Lastfall unmittelbar über dem Auflager steht, ist der Querdruckbeiwert  $k_{c,90}$  mit 1,0 anzunehmen.

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} = \frac{0,06 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,0 \cdot 0,21 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,29 < 1$$

### 3.4.4 Verbindungsmittel

Die Furnierschichtholzplatte wird mit selbstbohrenden Teilgewindeschrauben mit Senkkopf ( $d = 6 \text{ mm}$ ,  $L = 120 \text{ mm}$ ) nach AbZ auf den Längsträgern befestigt. Aufgrund der örtlichen Randbedingungen (Feuchte, Holzinhaltsstoffe) sind Schrauben aus nichtrostendem Stahl zu verwenden. Es werden je Längsträger 4 Schrauben pro Meter angeordnet.

Als Belastung sind anzusetzen:

1. abhebende Auflagerkraft aus  $q_{f,wk,1}$  für Nachweis auf Herausziehen

$$F_{A,g,k} = 0,23 \text{ kN} \quad F_{A,q,k} = -0,97 \text{ kN}$$

$$F_{ax,d} = (1,0 \cdot 0,23 - 1,5 \cdot 0,97) \text{ kN} / 0,28 \text{ m} = -4,38 \text{ kN/m}$$

2. abhebende Auflagerkraft aus  $q_{fk}$  und Querkraft aus Horizontallast  $Q_{fk,1}$  für kombinierten Nachweis auf Herausziehen und Abscheren

$$F_{A,g,k} = 0,23 \text{ kN} \quad F_{A,q,k} = -0,06 \text{ kN}$$

$$Q_{fk,1} = 0,1 \cdot q_{fk} \cdot L = 0,1 \cdot 4,4 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,00 \text{ m} / 4 \text{ LTr} = 0,11 \text{ kN/m/LTr}$$

$$F_{ax,d} = (1,0 \cdot 0,23 - 1,5 \cdot 0,06) \text{ kN} / 0,28 \text{ m} = 0,5 \text{ kN/m} > 0$$

Da es keine abhebende Bemessungsaullagerkraft gibt, wird nur der Nachweis auf Abscheren relevant.

$$F_{V,Ed} = 1,5 \cdot 0,11 = 0,17 \text{ kN/m}$$

Der Nachweis wird nach dem vereinfachten Verfahren nach DIN EN 1995-1-1/NA, NCI Zu 8.2.1 (NA.2) geführt.

Tragfähigkeitskennwerte einer Schraube gemäß AbZ:

$$F_{ax,Rd} = 1,72 \text{ kN} \quad \text{und} \quad F_{V,Rd} = 0,89 \text{ kN}$$

DIN EN 1995-1-1,  
6.1.5 Gl. (6.4)

Nach AbZ

DIN EN 1995-1-1,  
Gl. (6.3)

DIN EN 1995-1-1,  
6.1.5 (2)

ETV-HolzBr,  
Abschn. 3

## 1. Nachweis auf Herausziehen

$$\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{4,38 \text{ kN/m}}{4 \cdot 1,72 \text{ kN/m}} = 0,64 < 1$$

## 2. Nachweis auf Abscheren

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{0,17 \text{ kN/m}}{4 \cdot 0,89 \text{ kN/m}} = 0,05 < 1$$

DIN EN 1995-1-1,  
8.7.1

DIN EN 1995-1-1,  
8.7.3 und Gl. (8.28)

### 3.5 Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Im GZG wird nur der Durchbiegungsnachweis geführt. Aufgrund der kurzen Kragarmlängen wird für die Kragarme kein Nachweis geführt.

#### 3.5.1 Nachweis der Anfangsverformung

Kombinationsbeiwerte für die Verkehrslast  $q_{rk}$ :  $\psi_0 = 0,4$  und  $\psi_2 = 0$

Kombinationsbeiwerte für die Verkehrslast  $q_{fwk}$ :  $\psi_0 = \psi_2 = 0$

**Nachweis Gesamtdurchbiegung:**

$$w_{inst} = w_{g,inst} + w_{q,1,inst} + \sum_{i=2}^n \psi_{0,i} \cdot w_{q,i,inst} \leq \frac{l}{300}$$

Bemessungsrelevant wird die Lastkombination  $g_k + q_{fwk}$ .

$$w_{inst} = 0,01 \text{ mm} + 0,62 \text{ mm} \approx 0,6 \text{ mm} < \frac{680 \text{ mm}}{300} = 2,3 \text{ mm}$$

**Nachweis Durchbiegung aus Verkehrslast:**

$$w_{q,inst} \leq \frac{l}{400}$$

$$w_{q,inst} = 0,62 \text{ mm} < \frac{l}{400} = \frac{680 \text{ mm}}{400} = 1,7 \text{ mm}$$

DIN EN 1990, Tab.  
A2.2

DIN EN 1995-1-1/NA, Tab. NA.13,  
Z.1

DIN EN 1995-2/NA,  
NDP zu DIN EN  
1995-2, 7.2 und  
Tab. 7.1

#### 3.5.2 Nachweis der Endverformung

Kriechbeiwert  $k_{def} = 0,8$  für Furnierschichtholz in Nutzungsklasse 2

**Nachweis der Gesamtdurchbiegung:**

$$w_{fin} = w_{g,inst} \cdot (1 + k_{def}) + w_{q,1,inst} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) + \sum_{i=2}^n w_{q,i,inst} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} \cdot k_{def}) \leq \frac{l}{200}$$

Bemessungsrelevant wird die Lastkombination  $g_k + q_{fwk}$ .

$$w_{fin} = 0,01 \cdot (1 + 0,8) + 0,62 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) \text{ mm} = 0,7 \text{ mm} < \frac{l}{200} = \frac{680 \text{ mm}}{200} = 3,4 \text{ mm}$$

**Nachweis der Netto-Enddurchbiegung:**

$$w_{net,fin} = w_{g,inst} \cdot (1 + k_{def}) + \sum_{i=1}^n w_{q,i,inst} \cdot \psi_{2,i} \cdot (1 + k_{def}) - w_c \leq \frac{l}{300}$$

$$w_{net,fin} = 0,01 \cdot (1 + 0,8) = 0,02 \text{ mm} < \frac{l}{300} = \frac{680 \text{ mm}}{300} = 2,3 \text{ mm}$$

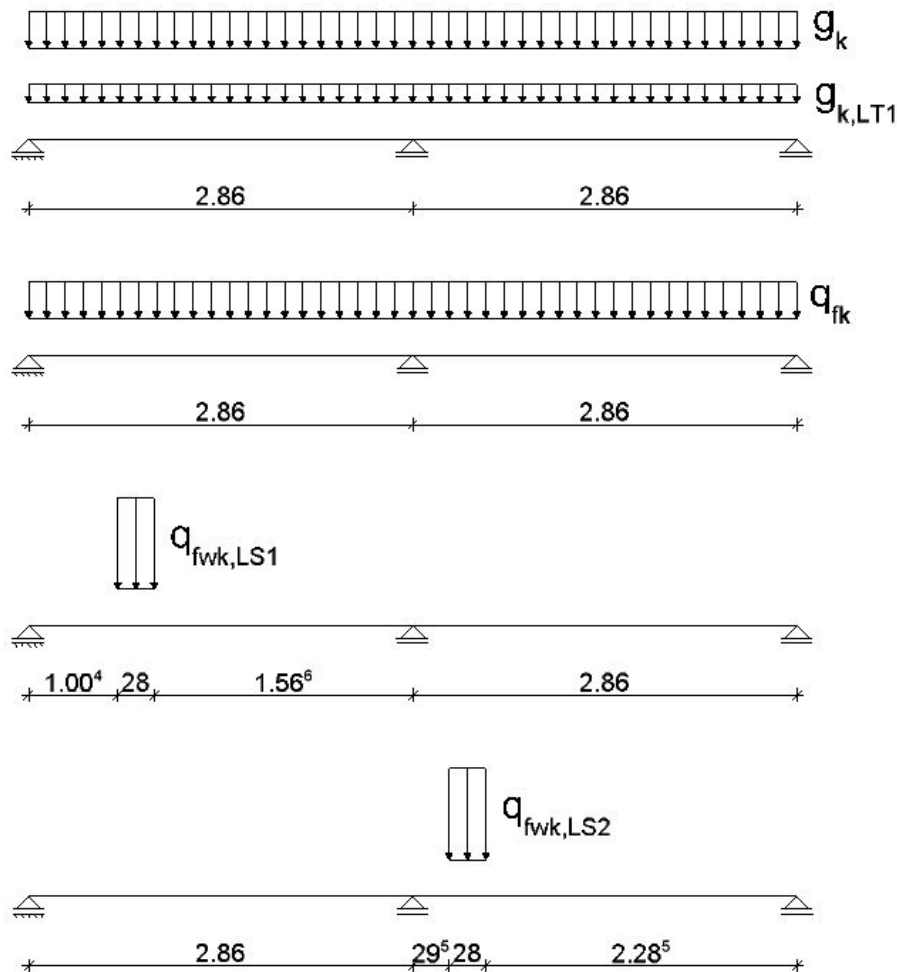
DIN EN 1995-1-1,  
Tab. 3.2

DIN EN 1995-1-1/NA, Tab. NA.13,  
Z.1

DIN EN 1995-1-1/NA, Tab. NA.13,  
Z.1

## 4 Position 2: Längsträger

### 4.1 System und Belastung



Der Längsträger wird auf der sicheren Seite liegend als Zweifeldträger modelliert.

Querschnitt: NH C30,  $b/h = 10/20$  cm

#### Eigenlast

aus Pos.1, max  $B_k$       0,40 kN/0,28 m       $g_k = 1,43$  kN/m

aus Eigenlast       $g_{k,LT1} = 0,09$  kN/m

#### Verkehrslast

gleichmäßig verteilte Flächenlast (Menschenansammlung)

aus Pos.1, max  $B_k$       1,03 kN/0,28 m       $q_{fk} = 3,68$  kN/m

konzentrierte Einzellast verteilt auf 28 cm

10 kN / (0,28 m)       $q_{fwb} = 35,71$  kN/m

Für die konzentrierte Einzellast werden die Laststellungen (LS) für die Lastfälle max M und max V untersucht.

Die horizontale Belastung aus der Verkehrslast erzeugt in den Längsträgern eine sehr geringe Normkraftbeanspruchung. Sie wird aufgrund der geringen Lastgröße in der Berechnung nicht explizit berücksichtigt. Es wird darauf geachtet, den Biegespannungsnachweis nicht voll auszulasten.

## 4.2 Charakteristische Schnittgrößen

LF	max $M_{k,Feld}$ [kNm]	max $V_{k,B}$ [kN]	max $B_k$ [kN]	max $w$ [mm]	$k_{mod}$
$g_k$	0,88	2,72	5,44	0,69	0,6
$q_{fk}$	2,88	6,58	13,16 11,88*	2,82	0,9
$q_{fwk}$	5,56	9,07	10	4,27	0,9

\* für Lastweiterleitung: Schnittgröße unter Vollast aus Pos. 1

Die Längsträger werden aufgrund der oberseitigen Abdeckung durch die abgedichtete Furnierschichtholzplatte in Nutzungsklasse 2 eingeordnet. Daraus ergeben sich unter Berücksichtigung der Klassen der Lasteinwirkungsdauer die  $k_{mod}$ -Werte.

DIN EN 1995-1-1, Tab. 3.1

## 4.3 Bemessungsschnittgrößen

Eine Kombination der konzentrierten Einzellast mit anderen Verkehrslasten ist nicht erforderlich.

Bemessungsrelevant wird aufgrund der Lastgröße für Biege-, Querkraftbemessung und Durchbiegung die Lastkombination  $g_k + q_{fwk}$  und für den Nachweis der Auflagerkraft  $g_k + q_{fk}$ .

Bemessungswert des Biegemomentes:

$$\begin{aligned} \max M_d &= 1,35 \cdot M_{g,k} + 1,5 \cdot M_{q, fwk, 1} \\ &= (1,35 \cdot 0,88 \text{ kNm} + 1,5 \cdot 5,56 \text{ kNm}) = 9,53 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Bemessungswert der Querkraft:

$$\max V_d = 1,35 \cdot V_{g,k} + 1,5 \cdot V_{q, fwk, 2} = 1,35 \cdot 2,72 \text{ kN} + 1,5 \cdot 9,07 \text{ kN} = 17,28 \text{ kN}$$

Bemessungswert der maximalen Auflagerkraft:

$$\max B_d = 1,35 \cdot B_{g,k} + 1,5 \cdot B_{q, fk} = 1,35 \cdot 5,44 \text{ kN} + 1,5 \cdot 13,16 \text{ kN} = 27,08 \text{ kN}$$

## 4.4 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

### 4.4.1 Biegung

Biegespannung:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{953 \text{ kNm} \cdot 6}{10 \cdot 20^2 \text{ cm}^3} = 1,43 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Biegefestigkeit:

$$f_{m,k} = 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,3} = 2,08 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Biegespannungsnachweis:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{1,43 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{2,08 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,69 < 1$$

DIN EN 338, Tab. 1

DIN EN 1995-1-1, Gl. (6.11) reduziert auf einachsige Biegung

#### 4.4.2 Schub

Schubspannung am Rechteckquerschnitt:

$$\tau_d = 1,5 \frac{V_{red,Ed}}{b_{ef} \cdot h}$$

Mit  $b_{ef} = k_{cr} \cdot b$  mit  $k_{cr} = \frac{2,0}{4,0} = 0,5$

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{17,28 \text{ kN}}{0,5 \cdot 10 \text{ cm} \cdot 20 \text{ cm}} = 0,26 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Schubfestigkeit:

$$f_{v,k} = 4,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{0,4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,3} = 0,28 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Schubspannungsnachweis:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{0,26 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{0,28 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,93 < 1$$

#### 4.4.3 Auflagerkraft

Druckspannung senkrecht zur Faser:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}}$$

$$\frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} = \frac{27,08 \text{ kN}}{10 \text{ cm} \cdot (3 + 20 + 3) \text{ cm}} = 0,10 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Die effektive Querdruckfläche ergibt sich für das mittlere Auflager durch eine Vergrößerung der realen Auflagerlänge auf den 20 cm breiten Obergurten der HEB 200 um beidseitig 3 cm.

Druckfestigkeit senkrecht zur Faser:

$$f_{c,90,k} = 2,7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{c,90,d} = 0,90 \cdot \frac{0,27 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,3} = 0,19 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Drucknachweis senkrecht zur Faser:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$$

Auf der sicheren Seite liegend wird der Querdruckbeiwert  $k_{c,90}$  vereinfachend mit 1,0 angenommen.

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} = \frac{0,10 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,0 \cdot 0,19 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,55 < 1$$

#### 4.4.4 Verbindungsmittel

Die Längsträger werden über Stahlwinkel an den Querrahmen befestigt. Als Verbindungsmittel kommen je Auflagerpunkt zwei Passbolzen 4.6 ( $d = 10 \text{ mm}$ ) zum Einsatz. Die Verbindungsmittel werden auf Abscheren aus der horizontalen Verkehrslast und den minimalen abhebenden vertikalen Auflagerkräften aus der vertikalen Verkehrslast beansprucht. Bei der Ermittlung der Bemessungslast aus der horizontalen Verkehrslast ist das Versatzmoment zu berücksichtigen, welches sich aus dem Abstand der Verbindungsmittel und der Wirkungslinie der Horizontallast in Oberkante Belag ergibt. Der vertikale Lastanteil wird nur einem Verbindungsmittel zugewiesen (ungünstigster Fall: Stoß der Längsträger auf dem Querträger), die horizontale Last wird auf beide Verbindungsmittel

DIN EN 1995-1-1, Gl. (6.13a), und DIN EN 1995-1-1/NA, NDP zu 6.1.7 (2)

DIN EN 338, Tab. 1

DIN EN 1995-1-1, Gl. (6.13)

DIN EN 1995-1-1, 6.1.5 Gl. (6.4)

DIN EN 1995-1-1, 6.1.5

DIN EN 338, Tab. 1

DIN EN 1995-1-1, Gl. (6.3)

DIN EN 1995-1-1, 6.1.5

aufgeteilt.

abhebende Auflagerkraft aus  $q_{fk}$  und Querkraft aus Horizontallast  $q_{fk,1}$  für Nachweis auf Abscheren

$$F_{A,g,k} = 1,63 \text{ kN} \quad F_{A,q,k} = -0,84 \text{ kN}$$

$$Q_{fk,1} = 0,11 \text{ kN/m} \cdot 2,86 \text{ m} = 0,31 \text{ kN}$$

Abscherkraft aus Momentenanteil aus  $Q_{fk,1}$  (Abstand VM zu OK Belag = 0,21 m, Abstand VM = 0,14 m):

$$F_{fk,1} = 0,31 \text{ kN} \cdot 0,21 \text{ m} / 0,14 \text{ m} = 0,47 \text{ kN}$$

$$F_{V,Ed,vertikal} = (1,0 \cdot 1,63 - 1,5 \cdot 0,84 - 1,5 \cdot 0,47) \text{ kN} = -0,34 \text{ kN}$$

$$F_{V,Ed,horiz} = 1,5 \cdot 0,31 / 2 = 0,23 \text{ kN}$$

$$F_{V,Ed,res} = \sqrt{0,34^2 + 0,23^2} = 0,41 \text{ kN}$$

Nachweis (Passbolzen auf Abscheren in Stahlblech – Holz-Verbindung, zweischnittig, außen liegendes dickes Stahlblech):

$F_{V,Rd} = 5,17 \text{ kN/SF}$  (für Kraft-Faser-Winkel =  $56^\circ$ )

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{0,41 \text{ kN}}{2 \cdot 5,17 \text{ kN}} = 0,04 < 1$$

## 4.5 Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Im GZG wird nur der Nachweis der Durchbiegung geführt.

### 4.5.1 Nachweis der Anfangsverformung

Kombinationsbeiwerte für die Verkehrslast  $q_k$ :  $\psi_0 = 0,4$  und  $\psi_2 = 0$

Kombinationsbeiwerte für die Verkehrslast  $q_{fwk}$ :  $\psi_0 = \psi_2 = 0$

**Nachweis Gesamtdurchbiegung:**

$$w_{inst} = w_{g,inst} + w_{q,1,inst} + \sum_{i=2}^n \psi_{0,i} \cdot w_{q,i,inst} \leq \frac{l}{300}$$

Bemessungsrelevant wird die Lastkombination  $g_k + q_{fwk}$ .

$$w_{inst} = 0,7 \text{ mm} + 4,3 \text{ mm} = 5 \text{ mm} < \frac{2860 \text{ mm}}{300} = 9,5 \text{ mm}$$

**Nachweis Durchbiegung aus Verkehrslast:**

$$w_{q,inst} \leq \frac{l}{400}$$

$$w_{q,inst} = 4,3 \text{ mm} < \frac{l}{400} = \frac{2860 \text{ mm}}{400} = 7,2 \text{ mm}$$

### 4.5.2 Nachweis der Endverformung

Kriechbeiwert  $k_{def} = 0,8$  für Vollholz in Nutzungsklasse 2

**Nachweis der Gesamtdurchbiegung:**

$$w_{fin} = w_{g,inst} \cdot (1 + k_{def}) + w_{q,1,inst} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) + \sum_{i=2}^n w_{q,i,inst} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} \cdot k_{def}) \leq \frac{l}{200}$$

DIN EN 1995-1-1, 8.6

DIN EN 1990, Tab. A2.2

DIN EN 1995-1-1/NA, Tab. NA.13, Z.1

DIN EN 1995-2/NA, NDP zu DIN EN 1995-2, 7.2 und Tab. 7.1

DIN EN 1995-1-1, Tab. 3.2

DIN EN 1995-1-1/NA, Tab. NA.13, Z.1

Bemessungsrelevant wird die Lastkombination  $g_k + q_{fwk}$ .

$$w_{fin} = 0,7 \cdot (1 + 0,8) + 4,3 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) \text{ mm} = 5,6 \text{ mm} < \frac{l}{200} = \frac{2860 \text{ mm}}{200} = 14,3 \text{ mm}$$

**Nachweis der Netto-Enddurchbiegung:**

$$w_{net,fin} = w_{g,inst} \cdot (1 + k_{def}) + \sum_{i=1}^n w_{q,i,inst} \cdot \psi_{2,i} \cdot (1 + k_{def}) - w_c \leq \frac{l}{300}$$

Da der quasi-ständige Anteil sämtlicher Einwirkungen aus Verkehr  $\psi_2 = 0$  ist und es keine Überhöhung gibt, ergibt sich die Netto-Enddurchbiegung nur aus Eigenlasten.

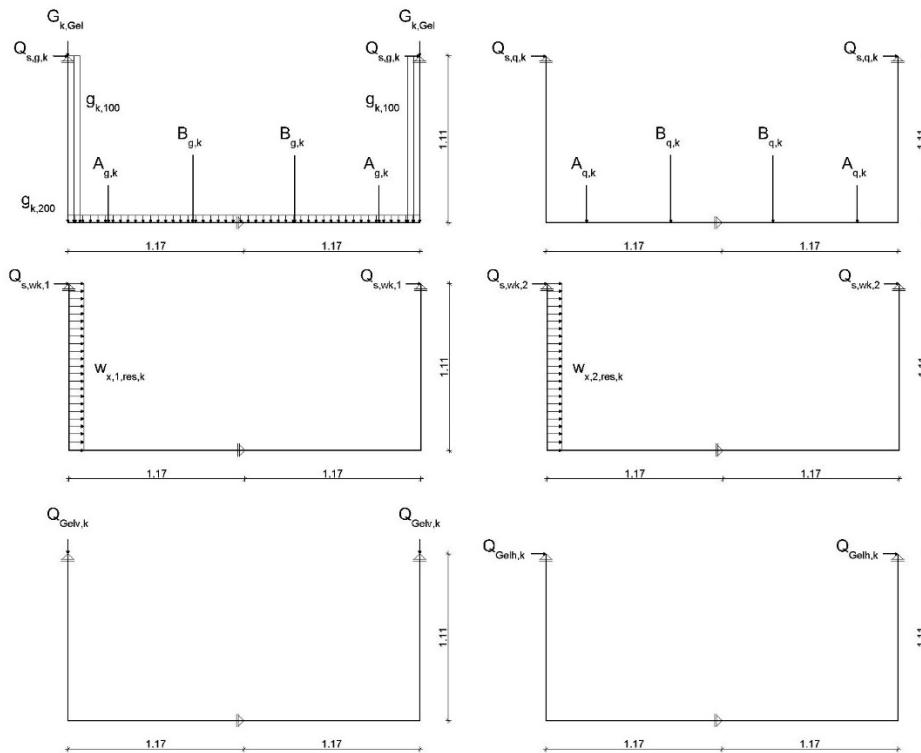
$$w_{net,fin} = 0,7 \cdot (1 + 0,8) = 1,3 \text{ mm} < \frac{l}{300} = \frac{2860 \text{ mm}}{300} = 9,5 \text{ mm}$$

DIN EN 1995-1-1/NA,  
Tab. NA.13, Z.1

## 5 Position 3: Querrahmen

### 5.1 System und Belastung

Der Querrahmen besteht aus einem Riegel HEB 200 und zwei Pfosten HEB 120. Die vertikalen Lager befinden sich an den oberen Befestigungsstellen am Hauptträger. Das horizontale Lager wird durch den Wind- und Aussteifungsverband gebildet.



Eigenlast:

$$g_{k,120} = 0,27 \text{ kN/m}$$

$$g_{k,200} = 0,61 \text{ kN/m}$$

$$G_{k,Gel} = 0,04 \text{ kN/m} \times 2,86 \text{ m} = 0,11 \text{ kN}$$



aus Belag und Längsträger:

mittlere Längsträger (infolge Pos. 1:  $B_{g,k} = 0,40 \text{ kN}/0,28 \text{ m} = 1,43 \text{ kN/m}$ ):

aus Pos. 2:  $B_{g,k} = 5,44 \text{ kN}$

äußere Längsträger (infolge Pos. 1:  $A_{g,k} = 0,23 \text{ kN}/0,28 \text{ m} = 0,82 \text{ kN/m}$ )

Unter Berücksichtigung der Eigenlast der Längsträger ( $0,09 \text{ kN/m}$ ) ergibt sich:

$$\text{aus Pos. 2: } A_{g,k} = 5,44 \text{ kN} \cdot \frac{(0,82+0,09) \text{ kN/m}}{(1,43+0,09) \text{ kN/m}} = 3,26 \text{ kN}$$

#### Verkehrslast:

mittlere Längsträger (infolge Pos. 1:  $B_{q,k} = 0,93 \text{ kN}/0,28 \text{ m} = 3,32 \text{ kN/m}$ ):

aus Pos. 2 unter Vollast:  $B_{q,k} = 11,88 \text{ kN}$

äußere Längsträger (infolge Pos. 1:  $A_{q,k} = 0,54 \text{ kN}/0,28 \text{ m} = 1,93 \text{ kN/m}$ )

$$\text{aus Pos. 2: } A_{q,k} = 11,88 \text{ kN} \cdot \frac{1,93 \text{ kN/m}}{3,32 \text{ kN/m}} = 6,91 \text{ kN}$$

Die konzentrierte Einzellast wird für die Querträgerbemessung nicht mehr maßgebend.

#### Windlast ohne Verkehr

$$w_{x,1, \text{res},k} = 1,44 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,60 \text{ m} \cdot 2,86 \text{ m} / 1,11 \text{ m} \cdot 1,25 = \pm 7,42 \text{ kN/m}$$

#### Windlast mit Verkehr

$$w_{x,2, \text{res},k} = 1,33 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,55 \text{ m} \cdot 2,86 \text{ m} / 1,11 \text{ m} \cdot 1,25 = \pm 10,92 \text{ kN/m}$$

#### Holmlasten

$$Q_{\text{Gel},v,k} = 1 \text{ kN/m} \cdot 2,86 \text{ m} = 2,86 \text{ kN}$$

$$Q_{\text{Gel},h,k} = 1 \text{ kN/m} \cdot 2,86 \text{ m} = \pm 2,86 \text{ kN}$$

#### Stabilisierungslasten aus den Hauptträgern

Um die Stabilisierungslasten ermitteln zu können, müssen zunächst die Hauptträger vordimensioniert werden.

charakteristische Biegemomente aus der Bemessung der Hauptträger:

$$M_{gk} = 230 \text{ kNm}$$

$$M_{qk} = 231 \text{ kNm}$$

$$M_{w_{k,1}} = 28 \text{ kNm}$$

$$M_{w_{k,2}} = 71,5 \text{ kNm}$$

$$\text{Mit } N_k = (1 - k_{\text{crit}}) \cdot \frac{M_k}{h} \text{ und } k_{\text{crit}} = 0,5 \text{ (aus Nebenrechnung)}$$

ergeben sich die mittleren Druckkräfte im Hauptträger zu:

$$N_{gk} = 88,46 \text{ kN}$$

$$N_{qk} = 88,85 \text{ kN}$$

$$N_{w_{k,1}} = 10,77 \text{ kN}$$

$$N_{w_{k,2}} = 27,50 \text{ kN}$$

Die Stabilisierungslasten ergeben sich aus

$$q_{s,k} = k_l \cdot \frac{n \cdot N_k}{k_{f,3-l}} = Q_{s,k} / e \text{ mit}$$

$$k_{f,3} = 30 \text{ und}$$

**DIN EN 1995-1-1,**  
9.2.5.2

**DIN EN 1995-1-1, Gl.**  
(9.36) und Gl. (6.34)

**DIN EN 1995-1-1, Gl.**  
(9.37)

**DIN EN 1995-1-1/NA,**  
Tab. NA.21

**DIN EN 1995-1-1, Gl.**

$$k_l = \min \left\{ \frac{1}{\sqrt{\frac{15}{l}}} = \sqrt{\frac{15}{20}} = 0,87 \right.$$

(9.38)

$$Q_{s,k} = 2,86 \text{ m} \cdot 0,87 \cdot \frac{1 \cdot N_k}{30 \cdot 20 \text{ m}}$$

$$Q_{s,g,k} = 0,37 \text{ kN}$$

$$Q_{s,q,k} = 0,37 \text{ kN}$$

$$Q_{s,wk,1} = 0,05 \text{ kN}$$

$$Q_{s,wk,2} = 0,12 \text{ kN}$$

## 5.2 Schnittgrößen und Bemessung

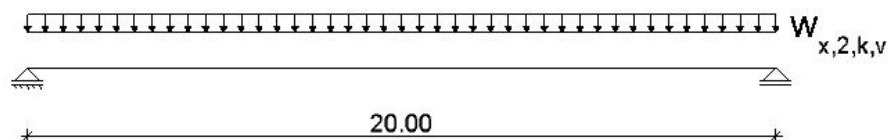
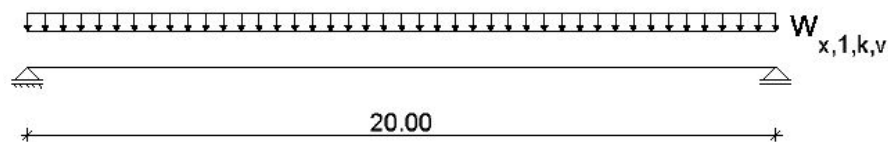
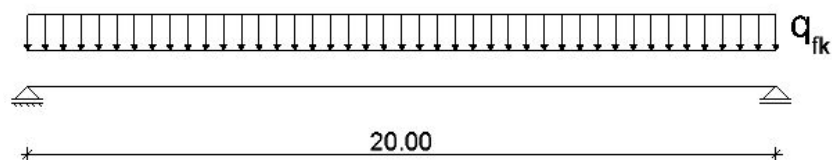
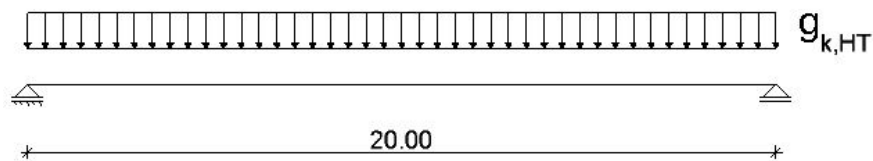
Die Querrahmen sind für die angegebenen Lasten zu bemessen. Die Nachweise werden hier im Einzelnen nicht aufgeführt, da es Tragfähigkeitsnachweise des Stahlbaus sind.

Im GZG wird empfohlen, die maximale Horizontalverschiebung der Querrahmenstiele auf  $L/150 = 7,7 \text{ mm}$  zu begrenzen.

## 6 Position 4: Hauptträger

### 6.1 System und Belastung

Die Hauptträger sind Einfeldträger mit Stützweiten von 20,00 m.



Für die horizontale Belastung sind die Hauptträger als Bestandteile des Aussteifungsverbandes Durchlaufträger über 7 Felder mit Stützweiten von 2,86 m.

Querschnitt: Brettschichtholz GL24c 20/130 cm

Die kleinste Querschnittsabmessung des Hauptträgers beträgt 200 mm. Die Mindestdicke von 120 mm für Hauptträger aus Brettschichtholz ist damit eingehalten.

Die Querschnittsfläche des Hauptträgers beträgt 420.000 mm<sup>2</sup>. Die Mindestquerschnittsfläche von 24.000 mm<sup>2</sup> für Hauptträger aus Brettschichtholz ist damit auch eingehalten.

#### Eigenlast für einen Hauptträger

Eigenlast Hauptträger mit Verschalung u. Abdeckung:  $g_{k,HT} = 1,20 \text{ kN/m}$

Belag:  $2,12 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,10 \text{ m} / 2$   $g_{k,Belag} = 2,22 \text{ kN/m}$

Längsträger: 2 Stck.  $\cdot 0,09 \text{ kN/m}$   $g_{k,LT} = 0,18 \text{ kN/m}$

Querrahmen:

$(0,27 \text{ kN/m} \cdot 1,01 \text{ m} + 0,61 \text{ kN/m} \cdot 1,23 \text{ m}) \cdot 8 \text{ Stck./20m}$   $g_{k,QR} = 0,41 \text{ kN/m}$

Geländer:  $g_{k,Gel} = 0,04 \text{ kN/m}$

Verband:  $g_{k,Verb} = 0,55 \text{ kN/m}$

$$\sum g_{k,HT} = 4,60 \text{ kN/m}$$

#### Verkehrslast

gleichmäßig verteilte Flächenlast (Menschenansammlung)

$4,40 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,10 \text{ m} / 2$   $q_{fk} = 4,62 \text{ kN/m}$

Die konzentrierte Einzellast wird für die Hauptträgerbemessung nicht mehr maßgebend.

Horizontallast infolge Verkehr:

$18,94 \text{ kN} / 2 \text{ Stck.} =$   $Q_{fk,1} = 9,47 \text{ kN}$

#### Windlasten

Windlast ohne Verkehr

$w_{x,1,k,v} = 1,44 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,60 \text{ m} \cdot (1,60 \text{ m} / 2 - 0,15 \text{ m}) / 2,66 \text{ m}$   $= \pm 0,56 \text{ kN/m}$

Windlast mit Verkehr

$w_{x,2,k,v} = 1,33 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,55 \text{ m} \cdot (2,55 \text{ m} / 2 - 0,15 \text{ m}) / 2,66 \text{ m}$   $= \pm 1,43 \text{ kN/m}$

Die vertikalen Windlasten ergeben sich aus dem Versatzmoment der Windlastresultierenden bezogen auf die Verbandsebene.

## 6.2 Charakteristische Schnittgrößen

LF	max $M_k$ [kNm]	max $V_k$ [kN]	max $w$ [mm]	$k_{mod}$
$g_k$	230	46	23,8	0,6
$q_{fk}$	231	46,2	23,9	0,9
$w_{x,1,k,v}$	28	5,6	2,9	1,0
$w_{x,2,k,v}$	71,5	14,3	7,4	1,0
$w_{x,2,k,h}$	3,47	12,1	0,1	1,0

Die Hauptträger werden aufgrund der oberseitigen Abdeckung und der seitlichen Verschalung in Nutzungsklasse 2 eingeordnet. Daraus ergeben sich unter Berücksichtigung der Klassen der Lasteinwirkungsdauer die  $k_{mod}$ -Werte.

**DIN EN 1995-2/NA,**  
Tab. NA.2 Z. 1 SP. 2

**DIN EN 1995-2/NA,**  
Tab. NA.2 Z. 1 SP. 3

**DIN EN 1995-1-1,** Tab.  
3.1

### 6.3 Bemessungsschnittgrößen

Folgende Lastfallkombinationen sind zu untersuchen:

- LK1 Eigengewicht
- LK2 Eigengewicht + Verkehrslast
- LK3 Eigengewicht + Wind ohne Verkehr
- LK4 Eigengewicht + Verkehrslast +  $\psi_0 \cdot$  (Wind mit Verkehr)
- LK5 Eigengewicht + Wind mit Verkehr +  $\psi_0 \cdot$  (Verkehrslast)

Das Maximum für  $q_d/k_{mod}$  definiert die maßgebende Lastfallkombination.

LK	$q_d$ [kN/m]	$k_{mod}$	$q_d / k_{mod}$ [kN/m]
1	$1,35 \cdot 4,6 = 6,21$	0,6	10,35
2	$1,35 \cdot 4,6 + 1,5 \cdot 4,62 = 13,14$	0,9	<b>14,60</b>
3	$1,35 \cdot 4,6 + 1,5 \cdot 0,56 = 7,05$	1,0	7,05
4	$1,35 \cdot 4,6 + 1,5 \cdot (4,62 + 0,3 \cdot 1,43) = 13,78$	1,0	13,78
5	$1,35 \cdot 4,6 + 1,5 \cdot (1,43 + 0,4 \cdot 4,62) = 11,13$	1,0	11,13

Maßgebend wird LK2. Weiterhin wird LK4 untersucht, da für diesen Lastfall Doppelbiegung zu beachten ist.

Bemessungswert des Biegemomentes:

$$\max M_d = 1,35 \cdot M_{g,k} + 1,5 \cdot M_{q,k} = 1,35 \cdot 230 + 1,5 \cdot 231 = 657,0 \text{ kNm}$$

Zugehörige Normalkraft:

$$\text{zug } N_d = 1,35 \cdot N_{g,k} + 1,5 \cdot N_{q,k} = 1,35 \cdot 0 + 1,5 \cdot 9,47 = 14,21 \text{ kN}$$

Bemessungswert der Querkraft:

$$\max V_d = 1,35 \cdot V_{g,k} + 1,5 \cdot V_{q,k} = 1,35 \cdot 46 + 1,5 \cdot 46,2 = 131,40 \text{ kN}$$

Zugehöriges Biegemoment in Querrichtung für LK4:

$$\text{zug } M_d = 1,35 \cdot M_{g,k} + 1,5 \cdot M_{q,k} = 1,35 \cdot 0 + 1,5 \cdot 3,47 = 5,21 \text{ kNm}$$

Zugehörige Querkraft in Querrichtung für LK4:

$$\max V_d = 1,35 \cdot V_{g,k} + 1,5 \cdot V_{q,k} = 1,35 \cdot 0 + 1,5 \cdot 12,1 = 18,15 \text{ kN}$$

### 6.4 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

#### 6.4.1 Biegung mit Normalkraft

Biegespannungen:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{65700 \text{ kNm} \cdot 6}{20 \cdot 130^2 \text{ cm}^3} = 1,17 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_y} = \frac{521 \text{ kNm} \cdot 6}{130 \cdot 20^2 \text{ cm}^3} = 0,06 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Druckspannung:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A_n} = \frac{14,21 \text{ kN}}{20 \cdot 130 \text{ cm}^2} = 0,005 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Aufgrund der geringen Größe wird der Normalspannungsanteil aus der Druckkraft im Nachweis vernachlässigt.

Biegefestigkeit:

$$f_{m,g,k} = 24 \frac{N}{mm^2} = 2,4 \frac{kN}{cm^2}$$

$$f_{m,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,g,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{2,4 \frac{kN}{cm^2}}{1,3} = 1,66 \frac{kN}{cm^2}$$

$$= 1,00 \cdot \frac{2,4 \frac{kN}{cm^2}}{1,3} = 1,85 \frac{kN}{cm^2}$$

Biegespannungsnachweis:

LK2:  $\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,g,d}} \leq 1$

$$\frac{1,17 \frac{kN}{cm^2}}{1,66 \frac{kN}{cm^2}} = 0,70 < 1$$

LK4:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,g,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,g,d}} \leq 1$$

$$\frac{1,17 \frac{kN}{cm^2}}{1,85 \frac{kN}{cm^2}} + 0,7 \cdot \frac{0,06 \frac{kN}{cm^2}}{1,85 \frac{kN}{cm^2}} = 0,66 < 1$$

Stabilitätsnachweise:

Die Knickbeiwerte betragen:  $k_{c,y} = 0,879$  und  $k_{c,z} = 0,906$

Der Anteil aus Biegeknicken wird aufgrund der geringen Drucknormalspannung nicht maßgebend und daher vernachlässigt.

Die Hauptträger sind durch die Querrahmen gegen Kippen im Abstand von 2,86 m gesichert. Der Kippbeiwert  $k_{crit}$  ergibt sich zu 1,0, der Kippnachweis wird daher nicht maßgebend. Gleiches gilt für die kombinierten Nachweise aus Biegeknicken und Kippen.

## 6.4.2 Schub

Schubspannung am Rechteckquerschnitt:

$$\tau_d = 1,5 \frac{V_{Ed}}{b_{ef} \cdot h}$$

Mit  $b_{ef} = k_{cr} \cdot b$  mit  $k_{cr} = \frac{2,5}{3,5} = 0,714$

$$\tau_{yd} = 1,5 \cdot \frac{131,40 kN}{0,714 \cdot 20 cm \cdot 130 cm} = 0,11 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\tau_{zd} = 1,5 \cdot \frac{18,15 kN}{0,714 \cdot 20 cm \cdot 130 cm} = 0,01 \frac{kN}{cm^2}$$

Schubfestigkeit:

$$f_{v,g,k} = 3,5 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{v,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,g,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{0,35 \frac{kN}{cm^2}}{1,3} = 0,24 \frac{kN}{cm^2}$$

$$= 1,0 \cdot \frac{0,35 \frac{kN}{cm^2}}{1,3} = 0,27 \frac{kN}{cm^2}$$

Schubspannungsnachweis:

LK 2:  $\frac{\tau_{yd}}{f_{v,g,d}} = \frac{0,11 \frac{kN}{cm^2}}{0,24 \frac{kN}{cm^2}} = 0,44 < 1$

LK 4:  $\left(\frac{\tau_{yd}}{f_{v,g,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{zd}}{f_{v,g,d}}\right)^2 = \left(\frac{0,11 \frac{kN}{cm^2}}{0,27 \frac{kN}{cm^2}}\right)^2 + \left(\frac{0,01 \frac{kN}{cm^2}}{0,27 \frac{kN}{cm^2}}\right)^2 = 0,17 < 1$

DIN EN 14080, Tab.4

DIN EN 1995-1-1, Gl. (6.11)

DIN EN 1995-1-1, Gl. (6.23) bis (6.29)

DIN EN 1995-1-1, Gl. (6.33) und (6.34)

DIN EN 1995-1-1, Gl. (6.13a), und DIN EN 1995-1-1/NA, NDP zu 6.1.7 (2)

DIN EN 14080, Tab. 4

DIN EN 1995-1-1, Gl. (6.13)

### 6.4.3 Auflagerkraft

Druckspannung senkrecht zur Faser:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}}$$

$$\frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} = \frac{131,40 \text{ kN}}{20 \text{ cm} \cdot (40 + 2 \cdot 3) \text{ cm}} = 0,14 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Es wird von einer Auflagerlänge von 40 cm ausgegangen. Die wirksame Kontaktlänge ergibt sich durch eine beidseitige Erhöhung um 3 cm.

Druckfestigkeit senkrecht zur Faser:

$$f_{c,90,g,k} = 2,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{c,90,g,d} = 0,90 \cdot \frac{0,25 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,3} = 0,17 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Drucknachweis senkrecht zur Faser:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$$

Der Querdruckbeiwert  $k_{c,90}$  darf bei verteilten Lasten und Auflagerlängen bis 400 mm für Brettschichtholzträger mit 1,75 angenommen werden. Da die Lastenleitungsstellen im Abstand von 2,86 m angeordnet sind, wird nicht von einer gleichmäßig verteilten Last ausgegangen. Der Querdruckbeiwert wird mit 1,0 angesetzt, da die Endquerrahmen direkt in der Auflagerachse liegen.

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} = \frac{0,14 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,0 \cdot 0,17 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,82 < 1$$

### 6.4.4 Querzugnachweis

Der Anschluss der Querrahmen an die Hauptträger erzeugt für die vertikalen Lasten eine Querzugbeanspruchung in den Hauptträgern. Für Queranschlüsse mit  $h_e/h > 0,7$  ist ein Querzugnachweis nicht erforderlich. Hier gilt:

$$h_e/h = 115 / 130 = 0,88 > 0,7$$

Der Querzugnachweis für die Hauptträger kann entfallen.

### 6.4.5 Verbindungsmittel

Aufhängung der Querrahmen an den Hauptträgern:

$$\text{Auflagerkräfte aus Pos. 3: } \max G_k = 10,17 \text{ kN} \quad \max Q_k = 19,14 \text{ kN}$$

$$\max F_{v,E,d} = 1,35 \cdot F_{g,k} + 1,5 \cdot F_{q,k} = 1,35 \cdot 10,17 + 1,5 \cdot 19,14 = 42,44 \text{ kN}$$

Gewählt: 4 Passbolzen M20, 4.6 in versetzter Anordnung (einschnittige Stahlblech-Holz-Verbindung mit dünnem Blech) mit  $F_{v,R,d} = 13,26 \text{ kN/VM}$

$$n_{ef} = n \text{ für } \alpha = 90^\circ$$

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{42,44 \text{ kN}}{4 \cdot 13,26 \text{ kN}} = 0,80 < 1$$

DIN EN 1995-1-1, 6.1.5  
Gl. (6.4)

DIN EN 1995-1-1, 6.1.5  
(1)

DIN EN 14080, Tab. 4

DIN EN 1995-1-1, Gl.  
(6.3)

DIN EN 1995-1-1, 6.1.5  
(4)

DIN EN 1995-1-1/NA,  
NCI zu 8.1.4 (NA.6)

## 6.5 Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

### 6.5.1 Nachweis der Anfangsverformung

Kombinationsbeiwerte für die Verkehrslast  $q_k$ :  $\psi_0 = 0,4$  und  $\psi_2 = 0$

Kombinationsbeiwerte für Wind  $w_k$ :  $\psi_0 = 0,3$  und  $\psi_2 = 0$

**Nachweis Gesamtdurchbiegung:**

$$w_{inst} = w_{g,inst} + w_{q,1,inst} + \sum_{i=2}^n \psi_{0,i} \cdot w_{q,i,inst} \leq \frac{l}{300}$$

Bemessungsrelevant wird die Lastkombination  $g_k + q_{fk} + w_{x,2,k,v}$ .

$$w_{inst} = 23,8mm + 23,9mm + 0,3 \cdot 7,4mm = 49,9mm < \frac{20000mm}{300} = 66mm$$

**Nachweis Durchbiegung aus Verkehrslast:**

$$w_{q,inst} \leq \frac{l}{400}$$

$$w_{q,inst} = 23,9mm < \frac{l}{400} = \frac{20000mm}{400} = 50mm$$

### 6.5.2 Nachweis der Enddurchbiegung

Kriechbeiwert  $k_{def} = 0,8$  für Brettschichtholz in Nutzungsklasse 2

**Nachweis der Gesamtdurchbiegung:**

$$w_{fin} = w_{g,inst} \cdot (1 + k_{def}) + w_{q,1,inst} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) + \sum_{i=2}^n w_{q,i,inst} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} \cdot k_{def}) \leq \frac{l}{200}$$

Bemessungsrelevant wird die Lastkombination  $g_k + q_{fk} + w_{x,2,k,v}$ .

$$w_{fin} = 23,8mm \cdot (1 + 0,8) + 23,9mm \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) + 7,4mm \cdot (0,3 + 0 \cdot 0,8) = 69mm < \frac{l}{200} = \frac{20000mm}{200} = 100mm$$

**Nachweis der Netto-Enddurchbiegung:**

$$w_{net,fin} = w_{g,inst} \cdot (1 + k_{def}) + \sum_{i=1}^n w_{q,i,inst} \cdot \psi_{2,i} \cdot (1 + k_{def}) - w_c \leq \frac{l}{300}$$

Da der quasi-ständige Anteil sämtlicher Einwirkungen aus Verkehr  $\psi_2 = 0$  ist, ergibt sich die Netto-Enddurchbiegung nur aus Eigenlasten abzüglich der Überhöhung.

Die Hauptträger werden für die Durchbiegung aus Eigenlast und dem häufigen Anteil der Verkehrslast  $\psi_1 = 0,4$  überhöht:

$$w_c = 23,8 \cdot (1 + 0,8) + 0,4 \cdot 23,9 = 52mm$$

$$w_{net,fin} = 23,8 \cdot (1 + 0,8) - 52 = -9mm < \frac{l}{300} = \frac{20000mm}{300} = 66mm$$

Damit verbleibt auch über die Nutzungsdauer eine minimale Trägerüberhöhung.

DIN EN 1990, Tab. A2.2

DIN EN 1995-1-1/NA, Tab. NA.13, Z.1

DIN EN 1995-2/NA, NDP zu DIN EN 1995-2, 7.2 und Tab. 7.1

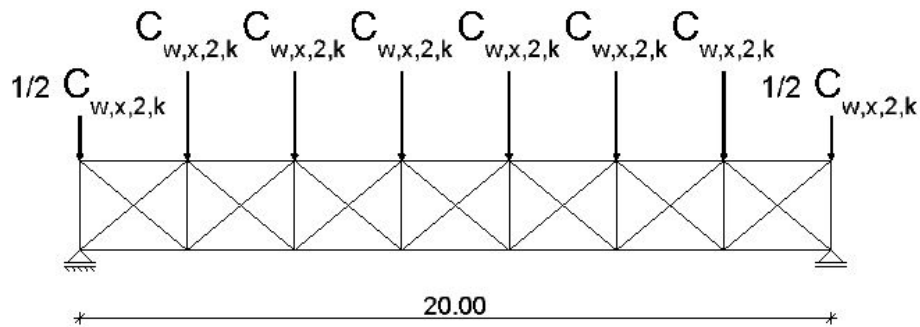
DIN EN 1995-1-1, Tab. 3.2

## 7 Position 5: Wind- und Aussteifungsverband

### 7.1 System und Belastung

Der liegende Wind- und Aussteifungsverband besteht aus den Hauptträgern als Gurte, den Rahmenriegeln als Pfosten und zwei gekreuzten stählernen Zugdiagonalen je Verbandsfeld. Er wird in Höhe der Schwerachse der Querrahmenriegel angeordnet.

Die Belastung resultiert aus der horizontalen Auflagerkraft aus den Querrahmen. Maßgebend wird der Lastfall: Wind mit Verkehr



### 7.2 Schnittgrößen und Nachweise

Die Druck- und Zugnormalkräfte in den Gurten des Verbandes sind bei der Bemessung der Hauptträger zu berücksichtigen.

$$\max N_{c,0,d} = -81,77 \text{ kN}$$

$$\max N_{t,0,d} = 82,34 \text{ kN}$$

Daraus ergibt sich eine maximale Normalspannung von:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A_n} = \frac{82,34 \text{ kN}}{20 \cdot 130 \text{ cm}^2} = 0,03 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Bei der Dimensionierung der Hauptträger wurden ausreichende Reserven im Biegespannungsnachweis berücksichtigt, so dass die Normalkräfte aus der Verbandsberechnung sicher aufgenommen werden.

Die Druckkräfte in den Verbandspfosten sind bei der Bemessung des Querrahmenriegels zu berücksichtigen.

$$\max N_{c,d} = -46,71 \text{ kN}$$

In den Verbandsdiagonalen tritt eine maximale Zugkraft auf von:

$$\max N_{t,d} = 44,60 \text{ kN}$$

Hierfür ist ein Zugankersystem auszuwählen. Eine Abstufung der Zugstabquerschnitte über die Tragwerkslänge ist sinnvoll, da die Zugkräfte in den inneren Verbandsfeldern deutlich geringer sind.

Die horizontale Durchbiegung des liegenden Verbandes ist auf  $L/500 = 4 \text{ cm}$  zu begrenzen.

Auf die einzelnen Nachweise am Verband wird nicht detailliert eingegangen.

**DIN EN 1995-1-1,**  
9.2.5.3 (2)



# **Anlage C**

## **Musterzeichnungen**

## MuZ-HolzBr – Musterzeichnungen für Holzbrücken

Die Musterzeichnungen für Holzbrücken wurden in Anlehnung an die vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur herausgegebenen Richtzeichnungen für Ingenieurbauwerke entwickelt ([www.bast.de](http://www.bast.de)). Da die Richtzeichnungen für Ingenieurbauwerke aus Stahlbeton, Stahl und Stahlverbund gelten und nur in wenigen Fällen auf Holzbrücken anwendbar sind, wurde mit den Musterzeichnungen eine eigene Zeichnungslinie für 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. von 2012 auf, führen diese beiden Zeichnungslinien zusammen, aktualisieren und erweitern sie.

Die Musterzeichnungen für Holzbrücken beschreiben für die Planung, Kalkulation und Ausführung von Holzbrücken empfohlene konstruktive Details. Sie stellen für wiederkehrende technische Aufgaben bewährte und dauerhafte Lösungen dar und geben den jeweiligen Stand der Technik wieder. Die Anwendung der Musterzeichnungen soll dazu beitragen, die Dauerhaftigkeit von Holzbrücken zu erhöhen, sodass Brücken aus Holz die Nutzungsdauern von Massiv- und Stahlbrücken erreichen.

Im Gegensatz zu den Richtzeichnungen für Ingenieurbauwerke sind die Musterzeichnungen für Holzbrücken mit derzeitigem Stand nicht rechtsverbindlich eingeführt. Sie werden für die Anwendung bei der Planung und Ausführung von Holzbrücken empfohlen. Ihre sinnvolle und zweckmäßige Anwendung beim jeweiligen Brückenbauvorhaben liegt in der Verantwortung des Projektingenieurs.

Änderungen erfolgen bei Bedarf oder wenn für bestimmte Konstruktionen technisch bessere, dauerhaftere oder wirtschaftlichere Lösungen entwickelt wurden und sich bewährt haben. Erfahrungsberichte über die Anwendbarkeit sind ausdrücklich erwünscht. Anregungen und Änderungsvorschläge sind an die Qualitätsgemeinschaft Holzbrückenbau e. V. zu richten. Der aktuelle Stand der Musterzeichnungen wird auf der Internetseite der Qualitätsgemeinschaft Holzbrückenbau e.V. ([www.holzbrueckenbau.com](http://www.holzbrueckenbau.com)) und in dem Heft „Musterzeichnungen für Holzbrücken“ des Informationsdienstes Holz veröffentlicht.

Die Entwicklung der Musterzeichnungen für Holzbrücken erfolgte im Rahmen des Forschungsprojektes „Entwicklung einheitlicher Richtlinien für den Entwurf, den Bau, die Überwachung und Prüfung geschützter Holzbrücken – Protected Timber Bridges (ProTimB)“. Das Projekt wurde finanziert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung, den Firmen der Qualitätsgemeinschaft Holzbrückenbau e.V. und dem Ingenieurbüro Setzpfandt Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG.

Projektleitung und Forscherteam:

Prof. Dr.-Ing. Antje Simon	Fachhochschule Erfurt
Prof. Dr.-Ing. Ralf Arndt	Fachhochschule Erfurt
Dr.-Ing. Markus Jahreis	Fachhochschule Erfurt
Johannes Koch	Fachhochschule Erfurt

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

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

# 1 Erläuterungen zu den Musterzeichnungen

## 1.1 Allgemeines

Die Musterzeichnungen orientieren sich hinsichtlich der Gestaltung, der Bezeichnung und des Inhaltes an den Richtzeichnungen der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt).

Der Zeichnungsname definiert das jeweils dargestellte konstruktive Detail. Gibt es in den Richtzeichnung vergleichbare Inhalte, so ergibt sich die Bezeichnung der Musterzeichnung aus der Bezeichnung der Richtzeichnung, ergänzt um ein vorangestelltes „H“ für „Holzbrücken“. Beispielsweise finden sich Regelungen zur Ausbildung der Überbauabdichtung in den Richtzeichnungen mit der Bezeichnung „Dicht“. Vergleichbare Regelungen für die Abdichtung von Holzüberbauten sind in den Musterzeichnungen mit der Bezeichnung „H-Dicht“ enthalten. Konstruktive Details, die in den Richtzeichnungen geregelt sind und die für Holzbrücken direkt angewendet werden können, wurden nicht in den Musterzeichnungskatalog aufgenommen. Detailbezeichnungen ohne vorangestelltes „H“ in den Musterzeichnungen verweisen auf die Richtzeichnungen. Daher sind bei der Planung einer Holzbrücke die Richtzeichnungen der BASt und die Musterzeichnungen gemeinsam anzuwenden.

Der angegebene Maßstab gilt für den kalibrierten Ausdruck auf DIN A4. Die Gesamtmaße der Brücken oder großer Bauteile sind in Metern [m] angegeben, die Holzbauteile sind, wenn nicht anders angegeben, in Zentimetern [cm] und Stahlteile in Millimetern [mm] vermaßt.

Eine Besonderheit auf den Musterzeichnungen stellt die Definition von Wartungsbauteilen dar. Aus Gründen geringer Dauerhaftigkeit ist die direkte Bewitterung von tragenden Holzbauteilen generell zu vermeiden. Wenn nichttragende oder leicht austauschbare Bauteile frei bewittert werden und trotzdem aus Holz hergestellt werden sollen (z. B. Geländer, Verschalungen und Belagsbohlen), ist für diese Bauteile von einer deutlich verkürzten Nutzungsdauer im Vergleich zur Nutzungsdauer des geschützten Haupttragwerkes auszugehen. Bewitterte Holzbauteile sind regelmäßig zu warten und bei beeinträchtigter Standsicherheit, Verkehrssicherheit oder Dauerhaftigkeit auszutauschen. Daher sind diese Bauteile explizit als Wartungsbauteile gekennzeichnet.

## 1.2 Beläge für Holzbrücken: H-Belag

Grundsätzlich ist ein geschlossener Belag einem offenen Belag vorzuziehen, da die unter dem Belag angeordneten Hauptträger durch eine dichte Belagsschicht konstruktiv gut geschützt sind. Brücken über Straßen und Gleisanlagen sind prinzipiell mit einem geschlossenen Belag zu versehen.

Für einen geschlossenen Belag wird ein unterlüfteter Aufbau empfohlen. Im Gegensatz zu der direkten Anordnung der Abdichtung auf der Haupttragkonstruktion ist bei der unterlüfteten Konstruktion eine direkte Kontrollmöglichkeit bei Undichtigkeit gegeben, es wird eine zweite Dichtebene geschaffen und die Blasenbildung beim Asphalteinbau wird reduziert. Eine unterlüftete Konstruktion lässt sich zudem leichter Instand setzen. Folgender genereller Aufbau ist vorzusehen (H-Belag 1 und H-Dicht 1):

- Deckschicht: Gussasphalt MA 8 S oder MA 11 S,  $25 \text{ mm} \leq t \leq 40 \text{ mm}$ , als Bindemittel sollte polymermodifiziertes Bitumen (z. B. 25/55-55A) verwendet und Moränsplitt 2/5 mm (Verfahren A) eingestreut werden. Nach dem Erkalten sind im maximalen Abstand von 45 m rechtwinklig zur Brückenlängsrichtung Fugen einzuschneiden und zu verfüllen.

- Schutzschicht: aus Gussasphalt MA 8 S, Einbaudicke 25 mm, Einbautemperatur 180 – 200°C (Die niedrige Einbautemperatur ist durch den Einsatz von niedrig viskosen Bindemitteln zu erreichen.)
- Dichtungsschicht: geklebte Bitumenschweißbahn (Haftzugfestigkeit  $\geq 1,5 \text{ N/mm}^2$ ), mit Polyestervlies als hochliegende Trägereinlage, auf Unterlage vollflächig verklebt (Lufttemperatur mind. 5°C), an Randwinkel ca. 3,0 cm hochgeklebt oder Schenkel verlängern (Vorprimern erforderlich), Bahnen quer zur Brückenachse verlegt, Stöße überlappt, an Tiefpunkten Tropftüllen nach H-Was 3 vorsehen
- Grundierung auf Epoxidharzbasis mit Einstreuung (nach ZTV-ING Teil 7, Abs. 2 – Haftbrücke und Feuchteschutz)
- Holzwerkstoffplatte auf Kanthölzern als Abstandshalter mit Neigung der Oberseite längs und/oder quer (Mindestneigung in einer Richtung 2,5 %); Löcher in der Holzwerkstoffplatte verbessern den Wärmeabfluss und reduzieren die Blasenbildung.
- Unterlüftungsebene
- Unterdeckbahn (diffusionsoffene Schutzlage, für vollflächige Auflagerung geeignet) zum zusätzlichen Schutz des Hauptträgers im Falle einer undichten Hauptabdichtung und für den Witterungsschutz bei Transport und Montage ( $s_d \leq 0,5 \text{ m}$ )
- Hauptträger mit Neigung der Oberseite längs und/oder quer

Die Dehnfugen entlang der Brückenränder sind auf die Dicke der Schutz- und Deckschicht mit Unterfüllstoff und heiß verarbeitbarer elastischer Fugenmasse nach ZTV-Fug-StB01 zu verfüllen.

Prüfung der Gussasphaltschichten:

1. Prüfung der Holzfeuchte des Untergrundes (Holzwerkstoffplatte):  $u \leq 15 \text{ M\%}$
2. Prüfung der Verarbeitbarkeit durch Messung der Drehmomente im Gussasphaltkocher
3. Prüfung der Wärmestandfestigkeit durch statischen Eindringversuch nach DIN EN 12697-20 und dynamischen Eindringversuch nach TPA-StB, Teil 25 A1
4. Prüfung der Kälteflexibilität durch Abkühlversuche

Soll ein offener Belag verwendet werden, so muss die Befestigung der Bohlen auf einem separaten Belagträger, der neben dem Hauptträger angeordnet wird, erfolgen (H-Belag 3 und Pos. 2 auf H-Belag 4). Eine direkte Befestigung der Bohlen auf dem Hauptträger ist nicht zulässig, da die Verbindungsmittel die über dem Hauptträger angeordnete Abdichtung durchdringen und damit den konstruktiven Holzschutz verletzen. Die Belagsbohlen und der Belagträger gelten als Wartungsbauteile, da sie der direkten Bewitterung und Verschmutzung durch die Nutzung ausgesetzt sind und dadurch eine kürzere Nutzungsdauer aufweisen. Die Anordnung einer oberseitigen Blechabdeckung und eines Nageldichtbandes (H-Belag 3) oder einer Kunststoffdachbahn verlängert die Nutzungsdauer des Belagträgers. Bei Ausführung eines offenen Belages ist die Fuge am Überbauende so auszuführen, dass kein Schmutz, Splitt, Laub o. ä. eindringen und auf der Auflagerbank liegen bleiben kann (H-Belag 3 und H-Übe 4).

Für Belagsbohlen sollten bevorzugt Riftbohlen (mit stehenden Jahrringen) eingesetzt werden, da sie die geringste Quell-Schwindverformung quer zur Faser aufweisen.

Wird ein offener Bohlenbelag auf einer abgedichteten Haupttragkonstruktion angeordnet (H-Belag 4), so ist darauf zu achten, dass die Anzahl der Auflagerpunkte der Belagträger minimiert wird, um die Beanspruchung der Dichtung auf ein Minimum zu begrenzen.

Auf einer abgedichteten Haupttragkonstruktion sind Bohlenbeläge geschlossen auszuführen (z. B. mit Falz nach H-Übe 4), damit Laub, Splitt und Schmutz nicht in die Zwischenebene fällt, deren Reinigung erschwert ist.

### **1.3 Details zur Geländerausführung für Holzbrücken: H-Gel**

Frei bewitterte Holzgeländer sind Wartungsbauteile, sie weisen eine verkürzte Nutzungsdauer auf. Sie sind i. d. R. nach 10 – 20 Jahren zu erneuern.

Äste an der Oberfläche von Holzbohlen und Kanthölzern können zu Ausbrüchen und in der Folge zu verstärkter Fäulnis führen. Für Holzgeländer ist daher auf eine besonders geringe Ästigkeit der Bauteile zu achten (Klasse J10 nach DIN EN 942).

Alternativen zu Holzgeländern sind Stahlgeländer, ggf. mit einem Handlauf aus Holz. Für den Handlauf wird, aufgrund der geringen Riss- und Verformungsneigung und der hohen Dauerhaftigkeit, der Einsatz von acetyliertem oder modifiziertem Holz empfohlen.

Bei der Geländerbefestigung am Hauptträger ist darauf zu achten, dass der konstruktive Holzschutz des Hauptträgers erhalten bleibt. Wasser, welches an den Befestigungselementen auftreten kann, darf nicht über diese Elemente an den Hauptträger geführt werden.

Für Fußgängerbrücken beträgt die Mindesthöhe der Geländer 1,00 m. Werden Brücken durch Radfahrer benutzt, müssen die Geländer mindestens 1,30 m hoch sein.

### **1.4 Varianten der Kappenausbildung auf Holzbrücken: H-Kap**

Bei Straßenbrücken aus Holz sind Kappen als Absturzsicherung für den Fahrzeugverkehr vorzusehen. Die Musterzeichnungen enthalten Varianten für Kappen auf Wirtschaftswegbrücken in Ort beton (H-Kap 1) und als Fertigteilausführung (H-Kap 2). Bei der Konstruktion ist zu beachten, dass die Luftzirkulation in der Hinterlüftungsebene durch ausreichend große Öffnungen zum Außenklima ermöglicht wird. Weiterhin sind die hohen Anpralllasten aus Verkehr durch geeignete Verbindungsmittel sicher aufzunehmen.

### **1.5 Lager für Holzbrücken: H-Lag**

Für Holzbrücken können standardisierte Elastomerlager eingesetzt werden (H-Lag 1). In diesem Fall sind die zugehörigen Richtzeichnungen Lag 9, 10 und 11 zu berücksichtigen. Alternativ ist die Lagerung auf einfachen Stahleinbauteilen möglich (H-Lag 2 und H-Lag 3).

In den Lager-Musterzeichnungen sind zudem zwei Varianten der Ausbildung der Auflagerbank dargestellt. Bei einem geschlossenen Überbau und einer dichten Übergangskonstruktion kann die Auflagerbank analog RiZ Was 5 mit einer Neigung zur Kammerwand ausgebildet werden, da in diesem Fall wenig Schmutz auf der Auflagerbank anfällt. Bei einem offenen Belag hingegen ist mit einem verstärkten Anfall von Schmutz, Splitt etc. auf der Auflagerbank zu rechnen. Daher wird in diesem Fall eine Neigung der Oberseite der Auflagerbank zur Luftseite des Widerlagers empfohlen, um die natürliche Reinigung durch den Niederschlag und die manuelle Reinigung der Auflagerbank zu erleichtern. Auf das Gerinne sollte auch bei nach vorn geneigter Auflagerbank nicht verzichtet werden, um Wasser- und Schmutzfahnen an der Widerlageransichtsfläche zu vermeiden.

## 1.6 Maßnahmen des Holzschutzes

### 1.6.1 Maßnahmen des konstruktiven Holzschutzes: H-Schutz

Die Musterzeichnungen H-Schutz regeln Details des konstruktiven Holzschutzes. Sie stellen die Grundlage für den Bau dauerhafter Holzbrücken dar, vergleichbare Richtzeichnungen gibt es nicht.

Holz ist ein organischer, hygroskopischer Baustoff, der klimaabhängig eine Ausgleichsfeuchte anstrebt. Mit hoher Luftfeuchtigkeit oder bei Bewitterung steigt die Holzfeuchte. Mit steigender Feuchte erhöht sich das Befallsrisiko durch holzerstörende Insekten oder Pilze. Begünstigt wird der Befall durch länger andauernden Kontakt der Holzkonstruktion mit Laub, Erde, Splitt und Schnee („LESS“-Ansammlungen). Die Holzkonstruktion muss daher so geschützt werden, dass die Materialfeuchte im Jahresmittel unter 20 M% verbleibt und die Konstruktion nicht durch direkte Schmutzaufgabe geschädigt wird (DIN 68800-1). Durch Umsetzung der Maßnahmen des konstruktiven Holzschutzes wird eine niedrige Gebrauchsklasse nach DIN EN 335 angestrebt.

In Deutschland hat der konstruktive Holzschutz nach DIN EN 1995-2/NA und DIN 68800-1 Vorrang vor dem chemischen Holzschutz. Sämtliche grundsätzlichen und besonderen baulichen Maßnahmen des konstruktiven Holzschutzes nach DIN 68800-2 sind anzuwenden.

Tragende Bauteile von Holzbrücken sind stets konstruktiv zu schützen. Für nichttragende Bauteile wird der konstruktive Holzschutz ebenfalls empfohlen, da er die Nutzungsdauer der Bauteile verlängert. Ungeschützte Holzbauteile gelten als Wartungsbauteile mit verkürzter Nutzungsdauer (je nach Beanspruchung auf ca. 10 bis 20 Jahre).

Konstruktiver Holzschutz an Brücken kann durch einen geschlossenen Belag bzw. ein Dach mit ausreichendem seitlichen Überstand und/oder durch Verschalung der Konstruktion realisiert werden. Abdeckungen müssen mindestens so weit überstehen, dass ein unter 30° gegenüber der Vertikalen einfallender Regen die tragende Holzkonstruktion nicht erreicht (H-Schutz 1). An windexponierten Standorten kann ein deutlich größerer Regeneinfall-Winkel auftreten, die Schutzmaßnahmen sind in diesem Fall auszuweiten. Besonders gefährdet sind Untergurte von Fachwerkträgern, da in die Knotenpunkte und horizontalen Risse Wasser eindringen und nicht abfließen kann. Bei unbekannter Windexposition wird empfohlen, in der statischen Berechnung Lastreserven für den nachträglichen Einbau einer zusätzlichen Verschalung einzuplanen.

Die Konstruktion mit einem ausreichenden seitlichen Überstand ist der Verschalung vorzuziehen, da eine Verschalung die handnahe Prüfung der Tragkonstruktion erschwert. Ist die Anordnung einer Verschalung notwendig, so erleichtert eine offene Verschalung (H-Schutz 4) die handnahe Prüfung. Eine geschlossene Verschalung ist zur Verbesserung der Prüfbarkeit der dahinter angeordneten Konstruktion einfach demontierbar oder abklappbar einzubauen (H-Schutz 6). Aufgrund des günstigeren Wasserabflusses sind Verschalungen mit vertikalem Brettverlauf (Boden-Deckel-Schalungen) den Verschalungen mit horizontalem Brettverlauf (Stülpchalungen) vorzuziehen (H-Schutz 2). An der Innenseite von Trogbrücken kann eine horizontale Verschalung vorteilhaft sein, da einzelne horizontale Lamellen im Spritzwasserbereich leichter austauschbar sind.

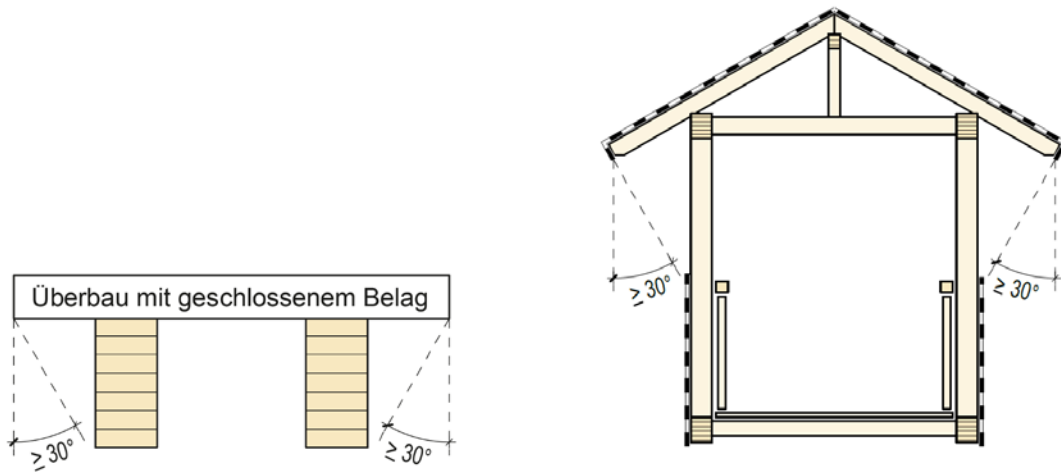
Unter offenen Bohlenbelägen liegende Hauptträger müssen konstruktiv durch Abdeckung und beidseitige seitliche Verschalung geschützt werden (H-Schutz 8). Die Abdeckung (Blech auf Trennlage zur Verhinderung der Korrosion infolge Kondenswasserbildung) darf nicht durch Verbindungsmittel perforiert werden. Zur Befestigung der Bohlen sind separate

Belagträger neben den Hauptträgern vorzusehen (H-Belag 3). Die Kontaktfläche zwischen Bohlenbelag und Hauptträger ist durch Anordnung schmaler Kanthölzer zu minimieren.

Folgende **grundsätzlichen und besonderen baulichen Maßnahmen des konstruktiven Holzschutzes** sind im Holzbrückenbau einzuhalten:

- Holzbrücken sind wartungsarm (z. B. durch integrale Bauweisen, wasserdichte Fahrbahnübergänge, geschlossene Beläge, Vermeidung von Wartungsfugen mit „dauerelastischen“ Dichtstoffen) oder wartungsfreundlich (Erleichterung der Reinigung und Bauwerksprüfung durch ausreichend große Abstände der Bauteile untereinander z. B. Abstand zwischen UK Überbau und OK Auflagerbank  $\geq 50$  cm) zu planen.
- Ein unzuträglicher Feuchteeintrag durch Niederschlag, Bodenfeuchte und angrenzende Bauteile während Transport, Lagerung und Bauphase in Holzbauprodukte und Holzbauteile ist wirksam zu verhindern (z.B. Lagerung auf Lagerhölzern, Abdeckung mit Folien oder Planen etc.).
- Die Einbauholzfeuchte sollte der am Standort zu erwartenden Nutzungsfeuchte entsprechen (ca. 16 bis 18 M%).
- Holzbauteile und ihre Knotenpunkte und Anschlüsse sind so auszubilden, dass Niederschlag durch einen Wetterschutz ferngehalten oder so schnell abgeleitet wird, dass keine unzuträgliche Erhöhung der Holzfeuchte erfolgen kann und keine Feuchteanreicherung stattfindet. Folgende Maßnahmen sind zu beachten:
  - Jede Holzbrücke ist als geschützte Konstruktion gemäß DIN EN 1995-2/NA auszubilden durch Anordnung eines geschlossenen Belages, von Verschalungen und Abdeckungen und/oder eines Daches. Abdeckungen/Dächer müssen mindestens so weit überstehen, dass ein unter  $30^\circ$  einfallender Regen die tragende Holzkonstruktion nicht erreicht (Abbildung 1).
  - Vermeidung horizontaler Flächen,
  - Hobeln der Oberflächen,
  - Anordnung von Tropfkanten,
  - Begrenzung der Rissbildung durch Beschränkung des Querschnitts und Verwendung kerngetrennt eingeschnittener Hölzer etc.),
  - Anordnung hinterlüfteter Verschalungen mit einer Luftschichtdicke  $\geq 20$  mm und geeigneten Be- und Entlüftungsöffnungen,
  - besonderer Schutz der Hirnholzflächen z.B. durch Anordnung wasserdichter Übergangskonstruktionen, Anordnung hinterlüfteter Bleche oder Bretter und/oder Hirnholzschutz durch diffusionsoffenen Anstrich oder Unterdeckbahn, (Die Belüftung und Zugänglichkeit der Hirnholzflächen ist zu gewährleisten z. B. durch Abschrägung der Hirnholzenden und Einhaltung des Abstandes zur Kammerwand  $\geq 10$  cm.)
  - Knotenpunkte und Anschlüsse (vor allem bei Fachwerkknoten, Zapfenlöchern, innen- und außenliegenden Blechen) sind so auszubilden, dass eine Feuchteanreicherung ausgeschlossen wird.
  - Abdichtungen dürfen nicht durch Verbindungsmittel perforiert werden.





**Abbildung 1:** Definition eines Überstandes mit schützender Wirkung für die darunter liegende Konstruktion (li.: einzelner Hauptträger; re.: Beispiel für eine Fachwerkbrücke) [Skizze: J. Koch, IB Miebach]

- Holzbauteile sind luftumspült mit angemessenem Abstand zu anderen Bauteilen und zum Gelände einzubauen, um einen Feuchteübertrag oder eine Feuchteanreicherung zu vermeiden und eine schnelle Trocknung zu ermöglichen. Folgende Grundsätze sind zu beachten:
  - Holzbauteile sind so einzubauen, dass kein Erdkontakt auftritt (z.B. Kammerwand und Widerlagerschürzen vorsehen).
  - Im Bereich der Auflager sind geeignete Maßnahmen zu ergreifen, um den Bewuchs und die Ablagerung von organischen Bestandteilen dauerhaft zu verhindern. Die Bildung von Schmutznestern, insbesondere durch Laub-, Erd-, Splitt- und Schneeansammlungen, ist zu vermeiden. Dazu ist der Übergang zwischen Überbau und Kammerwand möglichst geschlossen auszubilden.
  - Das Einbetonieren von Holzbauteilen ist nicht zulässig.
  - Zum Schutz vor Spritzwasser sollte der Abstand aller Holzbauteile vom Boden  $\geq 50$  cm betragen, der Mindestabstand von 30 cm darf nicht unterschritten werden.
  - Eine ausreichende Belüftung sowie die Reinigungs- und Revisionsfähigkeit des gesamten Überbaus sind zu gewährleisten (z.B. Abstand UK Überbau zum Boden  $\geq 100$  cm).
  - Kontaktflächen und enge Fugen zwischen Holzbauteilen sind zu minimieren (z. B. durch Anordnung von Abstandsscheiben oder von Konterlattungen für Verschalung).
- Insektenbefall ist auszuschließen (z.B. durch Einsatz technisch getrockneter Hölzer und Holzwerkstoffe, Verwendung insektenundurchlässiger Abdeckungen, Verwendung von Farbkernhölzern mit Splintanteil  $\leq 10$  %, offene Anordnung der Hölzer mit dauerhaftem Hinweis zur regelmäßigen Kontrolle).

### 1.6.2 Natürliche Dauerhaftigkeit

Die Auswahl der Hölzer für die einzelnen Bauelemente sollte unter Beachtung der natürlichen Dauerhaftigkeit der Holzarten erfolgen. Die Kernhölzer der verschiedenen Holzarten weisen eine natürliche Widerstandsfähigkeit gegen den Befall durch Holz zerstörende Pilze und Insekten auf. Diese Eigenschaft wird mit der Einordnung in eine

Dauerhaftigkeitsklasse nach DIN EN 350 quantifiziert. Kann ein Bauteil nicht durch konstruktive Maßnahmen geschützt werden und kann eine häufige Feuchteeinwirkung nicht ausgeschlossen werden (z. B. bei frei bewitterten Geländern, Bohlenbelägen und Verschalungen), sollten Hölzer mit hoher natürlicher Dauerhaftigkeit eingesetzt werden. Zusätzlich zu den konstruktiven Maßnahmen kann die Verwendung von Hölzern mit hoher Dauerhaftigkeit zur Erfüllung der Anforderungen an den Holzschutz gemäß DIN 68800-1 beitragen.

Der Einsatz von Kernhölzern mit hoher natürlicher Dauerhaftigkeit ist dem chemischen Holzschutz (DIN 68800 Teil 3) vorzuziehen. Die Anwendung der jeweiligen Holzart in der entsprechenden Gebrauchsklasse ist Tabelle 1 zu entnehmen. Die Dauerhaftigkeiten gelten ausschließlich für den Kernbereich der Hölzer, der Splintanteil ist auf maximal 5 % zu begrenzen.

**Tabelle 1:** Dauerhaftigkeitsklasse und zulässige Gebrauchsklasse (GK) verschiedener Holzarten in Anlehnung an Tabelle 5 der DIN 68800-1

Holzart	Dauerhaftigkeitsklasse	zulässige GK	Nutzungsdauer [a]	
Nadelholz	Fichte ( <i>Picea abies</i> )	4	0	5 - 10
	Tanne ( <i>Abies alba</i> )	4	0	5 - 10
	Kiefer ( <i>Pinus sylvestris</i> )	3-4	0, 1, 2	10 - 25
	Lärche ( <i>Larix decidua</i> )	3-4	0, 1, 2, 3.1	20 - 30
	Douglasie ( <i>Pseudotsuga menziesii</i> )	3-4	0, 1, 2, 3.1	10 - 25
Laubholz	Eiche, europ. ( <i>Quercus robur</i> und <i>Q. petraea</i> )	2	0, 1, 2, 3.1, 3.2	15 - 25
	Robinie ( <i>Robinia pseudoacacia</i> )	1-2	0, 1, 2, 3.1, 3.2	25 - 35
	Azobé/ Bongossi ( <i>Lophira alata</i> )	2*	0, 1, 2, 3.1, 3.2, 5	20 - 35

\*ungewöhnlich große Variabilität der Eigenschaften; sehr dauerhaft im Wasserkontakt,

Auf die Verwendung von Tropenhölzern sollte verzichtet werden. Plantagenhölzer haben sehr unterschiedliche Qualitäten und Dauerhaftigkeiten, die im Einkauf schwer vorbestimmt werden können.

### 1.6.3 Empfehlung zur Auswahl der Holzart für verschiedene Bauteile

#### Frei bewitterte Bauteile

Geländer: Lärche, acetyliertes Holz, Eiche

Bohlenbelag: Lärche, Eiche, Douglasie, (Bongossi),  
Robinie, thermisch modifiziertes Holz

Verschalung: Lärche, Douglasie, Kiefer, acetyliertes Holz

Bei Farbkernhölzern wie Lärche, Kiefer, Douglasie, Eiche, Robinie ist immer der Kernbereich der Hölzer mit maximalem Splintanteil von 5 % zu nutzen. Es sollte technisch getrocknetes, gering astiges Holz (in Anlehnung an DIN EN 942, Klasse J10) mit einer maximalen Faserabweichung von der Schnittkante von 1:20 verwendet werden.

## **Konstruktiv geschützte Bauteile**

Hauptträger: Brettschichtholz aus Nadelholz

Für die Herstellung von Brettschichtholz wird üblicherweise Fichte eingesetzt. Zur Erzielung einer höheren Dauerhaftigkeit wird Brettschichtholz aus Lärche empfohlen. Brettschichtholz aus Eiche ist für den Einsatz als tragendes Bauteil im Außenbereich in Deutschland noch nicht bauaufsichtlich zugelassen.

### **1.6.4 Oberflächenbeschichtungen**

Oberflächenbeschichtungen erfolgen mit dem Ziel, die Feuchteaufnahme der Holzoberflächen und deren Verschmutzung durch die Bildung eines Schutzfilmes zu begrenzen. Der Feuchteschutz durch Beschichtung bewirkt für eine begrenzte Zeit eine Verringerung der klimatischen Belastungen, wie z.B. eindringende Feuchtigkeit durch Regen sowie Ligninabbau durch UV-Strahlung. Durch Schutzanstriche mit bioziden Anteilen kann der Bläue-, Schimmel- und Algenbefall begrenzt werden.

Oberflächenbeschichtungen zählen nicht zu den Schutzmaßnahmen, weder als konstruktiver noch als chemischer Holzschutz. Durch die natürlichen Quell- und Schwindverformungen, die immer mit der Rissbildung des Holzes verbunden sind, kann keine völlig dichte, dauerhafte Beschichtung erzielt werden. Beschichtungen sind daher nur für eine begrenzte Zeit wirksam und je nach Beanspruchungsintensität und Einsatzort regelmäßig zu erneuern (durchschnittlich alle 2 bis 4 Jahre).

In baulich geschützten Bereichen (zum Beispiel in gedeckten, voll verkleideten Holzbrücken, an der Innenlaibung von Wildbrücken oder unter Holz-Beton-Verbund-Brücken mit großem Plattenüberstand) mit geringer UV-Belastung und bei Schutz vor partikelhaltigen, starken Luftströmungen können Beschichtungen dazu beitragen, die Verschmutzung oder die Feuchteaufnahme aus Sprühnebel zu verringern.

Beschichtungen sind mehrschichtig aufzubauen und systemkonform auszuführen. Es sind diffusionsoffene Beschichtungssysteme zu verwenden. Die Eignung des Beschichtungssystems für den Einsatz im Außenbereich muss vom Hersteller nachgewiesen werden.

### **1.6.5 Chemischer Holzschutz**

Nur wenn der für ein Holzbauteil erforderliche Holzschutz gemäß DIN 68800 durch Ausschöpfung aller konstruktiven Schutzmaßnahmen sowie den Einsatz von geeigneten dauerhaften Farbkernhölzern allein nicht erzielt werden kann, ist das Holz gemäß DIN 68800 Teil 3 mit einem chemischen Holzschutz zu versehen.

Die dauerhafte Wirkung des chemischen Holzschutzes durch fixierende Holzschutzmittel ist auch unter gelegentlicher Bewitterung sicherzustellen. Die Tränkbarkeit der Holzarten ist zu beachten. Es sind werkseitig durch zugelassene Verfahren behandelte Hölzer einzusetzen, die Kennzeichnungspflicht ist zu beachten.

Ein nachträgliches Anbringen oder die Erneuerung des chemischen Holzschutzes auf der Baustelle ist aus Gründen der schlechten Einbringbarkeit, der fehlenden Kontrollmöglichkeit der Wirksamkeit und des Umweltschutzes nicht zulässig.

## **1.7 Details für Trogbrücken aus Holz: H-Trog**

In den Musterzeichnungen für die Trogbrücken sind Hinweise zum Anschluss der Hauptträger an die Querrahmen und Endquerrahmen angegeben. Durch ausreichend große Fugen und Langlöcher in den Stahlbauelementen ist sicherzustellen, dass die Quell-

und Schwinddehnung der hohen Hauptträger senkrecht zur Faser zwängungsfrei erfolgen kann. Mindestwerte für die Hinterlüftung der Verschalung und die Abstände zwischen Belag und Verschalung sind in H-Schutz 7 angegeben.

Verschalungen sollten für eine ausreichende Luftzirkulation einen Mindestabstand von 20 mm von der zu schützenden Konstruktion aufweisen. Je Meter Brückenlänge sind Mindestquerschnitte zur Belüftung bei horizontaler Luftführung von 100 cm<sup>2</sup> und bei vertikaler Belüftung von 50 cm<sup>2</sup> vorzusehen. Die Belüftungsöffnungen sind dauerhaft gegen Insekteneinflug zu schützen.

Soll die Oberseite der Hauptträger mit einer Blechabdeckung geschützt werden, so ist nichtrostendes Blech ( $t \geq 1$  mm) aus Aluminium, Kupfer oder Titan-Zinkblech zu verwenden. Unter dem Blech ist eine diffusionsoffene Trennlage gemäß DIN 18338 anzuordnen, um Korrosion bei Schwitzwasserbildung zu verhindern. Die Trennlage wird gespannt und seitlich an das hölzerne Abdeckbrett angenagelt. Die Blechabdeckung sollte seitlich 5 – 10 mm über das Abdeckbrett und mindestens 20 mm über die Verschalung überstehen.

### **1.8 Fahrbahnübergänge bei Holzbrücken: H-Übe**

Diese Musterzeichnungen enthalten Angaben zum holzseitigen Einbau eines Standardfahrbahnüberganges mit einem Dichtprofil (H-Übe 1) und eines Asphaltüberganges (H-Übe 3) sowie zu einer vereinfachten Übergangsvariante mit Schleppblech (H-Übe 2).

Beim Einbau von Fahrbahnübergängen ist darauf zu achten, dass die Übergangskonstruktion dicht ist. Auf der Überbauabdichtung anfallendes Wasser ist durch ein geeignetes Tropfblech mit ausreichendem Abstand von der tragenden Holzkonstruktion abzuleiten. Das Hirnholz der Haupttragkonstruktion ist zusätzlich konstruktiv zu schützen, um Schäden infolge einer undichten Fahrbahnübergangskonstruktion zu vermeiden.

Bei Anordnung eines Bohlenbelages ist die Fuge am Überbauende so auszuführen, dass kein Schmutz, Splitt, Laub o. ä. eindringen und auf der Auflagerbank liegen bleiben kann (H-Übe 4). Bei breiten Auflagerbänken und daraus resultierenden breiten Schleppblechen ist die Variante mit geschlossenem (gefalztem) Bohlenbelag im Auflagerbereich aus gestalterischen Gründen zu bevorzugen.

### **1.9 Entwässerungseinrichtungen an Holzbrücken: H-Was**

Gerade für Holzbrücken ist das schnelle und schadfreie Abführen des Niederschlagswassers von grundlegender Bedeutung. Die Musterzeichnungen zur Entwässerung zeigen die Anpassung der Standardregelungen der Richtzeichnungen für den Einbau eines Brückenablaufes (H-Was 1) und einer Tropftülle (H-Was 3) in Holzbrücken. Weiterhin sind Empfehlungen für die seitliche Führung einer Entwässerungsrinne bei Trogrücken angegeben (H-Was 2).

### **1.10 Zugänglichkeit von Holzbrücken: H-Zug**

Diese Musterzeichnung enthält Angaben zu den Mindestabständen zwischen der Tragkonstruktion aus Holz und den Unterbauten sowie dem umgebenden Gelände in Übereinstimmung mit den Richtzeichnungen und der BDA-Brü.

### **1.11 Hinweise zum Kleben von Holzbauteilen**

Tragende Holzbauteile aus Brettschichtholz, Brettsperrholz oder Holzwerkstoffen müssen mit einem witterungsbeständigen und für die Holzart geeigneten Klebstoff hergestellt werden. Für alle Klebstoffe ist die Eignung durch Zulassung nachzuweisen. Der im Regelfall

auf Pheno- oder Aminoplasten basierende Klebstoff muss dem Typ I nach DIN EN 301 entsprechen. Polyurethanharze und EPI-Klebstoffe müssen die Anforderungen sinngemäß erfüllen.

Nichttragende Bauteile wie Füllstäbe an Geländern, Deckbretter etc. dürfen mit witterungsbeständigen Klebstoffen des Typs D4 nach DIN EN 204 verklebt werden.

Für das Einkleben von Stahlstäben im Holz kommen im Regelfall ein zweikomponentiges Epoxidharzsystem oder spezielle Polyurethanharze mit bauaufsichtlicher Zulassung zum Einsatz.

## **2 Korrosionsschutz von Stahlbauteilen in Holzbrücken**

Bei Holzbrücken können drei verschiedene stählerne Bauteilarten zur Anwendung kommen: Stahlbauelemente (z.B. Quer- und Längsträger, Stützen, Pylone, Verbände und Brückengeländer), Stahlteile (z.B. Stützenfüße, Knotenbleche, Laschen) und metallische Verbindungsmittel (z.B. Schrauben, Nägel, Bolzen, Dübel, Muttern, Scheiben, Gewindestangen und Dübel besonderer Bauart).

Stahlbauelemente sind in den ZTV-ING Teil 4 Stahlbau, Stahlverbundbau geregelt. Bezüglich des Korrosionsschutzes sind die „Empfehlungen für Technische Vertragsbedingungen für Holzbrücken – ETV Holz-Br“ zusätzlich anzuwenden, wenn Stahlbauelemente direkt oder indirekt (z.B. Lage unter Abtropfbereich von Holzbauteilen) im Kontakt zu Holzbauteilen eingebaut werden.

Stahlteile und metallische Verbindungsmittel stehen im direkten Kontakt mit Holz. Aus dieser Exposition resultieren für Stahlteile und metallische Verbindungsmittel zusätzlich notwendige Korrosionsschutzmaßnahmen.

Der Korrosionsschutz von Stahlbauteilen (Stahlbauelemente, Stahlteile und metallische Verbindungsmittel) ist in den ETV Holz-Br geregelt. [Download dieser und weiterer Unterlagen unter [www.holzbrueckenbau.com](http://www.holzbrueckenbau.com)]

## Inhaltsverzeichnis

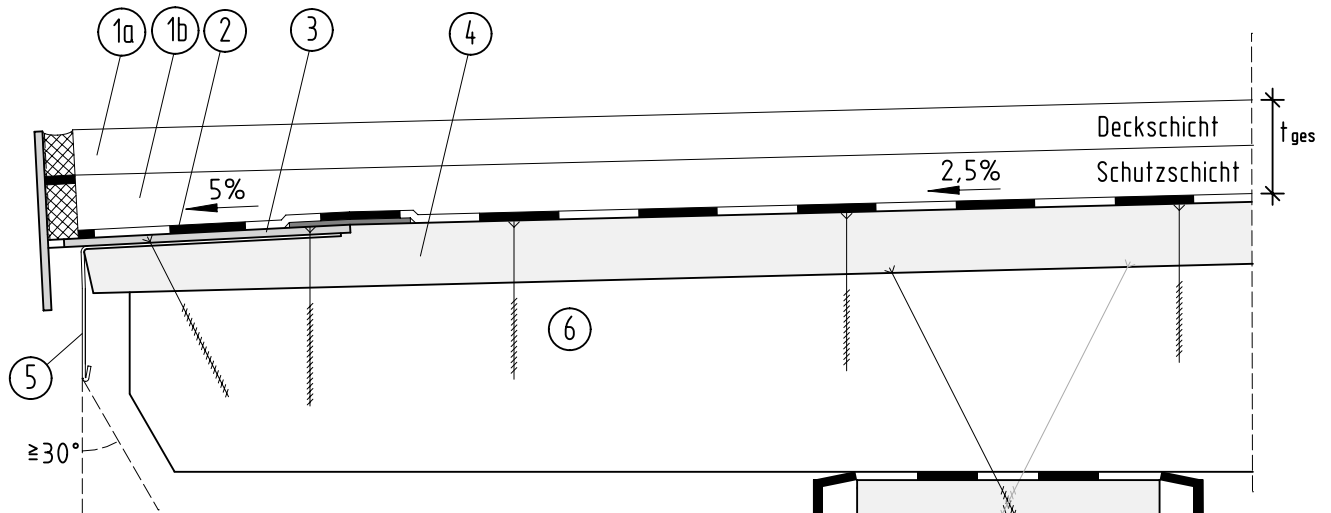
### Musterzeichnungen für Holzbrücken

MuZ	Titel	Stand	Geeignet für	
			Fuß- und Radwegbrücken	Straßenbrücken
<b>H-Belag 1</b>	Geschlossener Belag (Asphalt)	10/2018	x	x
<b>H-Belag 2</b>	Befestigung Plattenbelag auf Abdichtung	10/2018	x	
<b>H-Belag 3</b>	Offener Bohlenbelag für Fuß- und Radwegbrücken, Bohlendicke $d = 40 \dots 75$ mm	10/2018	x	
<b>H-Belag 4</b>	Befestigung Bohlenbelag auf Abdichtung	10/2018	x	
<b>H-Dicht 1</b>	Flächige Abdichtung bei Plattentragwerken	10/2018	x	x
<b>H-Dicht 2</b>	Randabschluss Asphaltsschichten mit Metallprofil	10/2018	x	x
<b>H-Dicht 3</b>	Fugenausbildung zu Betonkappe	10/2018	x	x
<b>H-Gel 1</b>	Holmgeländer	10/2018	x	(x)
<b>H-Gel 2</b>	Füllstabgeländer	10/2018	x	(x)
<b>H-Gel 3</b>	Holzgeländer Handlauf	10/2018	x	(x)
<b>H-Gel 4</b>	Füllungen für Füllstabgeländer $1,20 \leq h \leq 1,30$ m	10/2018	x	(x)
<b>H-Gel 5 Blatt 1</b>	Holzgeländer Anschluss Geländerpfosten mit Stahlteil	10/2018	x	(x)
<b>H-Gel 5 Blatt 2</b>	Holzgeländer Anschluss Geländerpfosten und Querträger	10/2018	x	(x)
<b>H-Kap 1</b>	Anschluss Stahlbetonkappe (Ortbeton) für Wirtschaftswegbrücken	10/2018		x
<b>H-Kap 2</b>	Anschluss an Stahlbetonkappe (Fertigteil) für Wirtschaftswegbrücken	10/2018		x

MuZ	Titel	Stand	Geeignet für	
			Fuß- und Radwegbrücken	Straßenbrücken
H-Lag 1	Elastomerlager	10/2018	x	x
H-Lag 2	Festlager mit Stahlprofil und Gabellager	10/2018	x	x
H-Lag 3	Festlager mit Schlitzblech	10/2018	x	x
H-Schutz 1	Schutzdach und Verschalung	10/2018	x	x
H-Schutz 2	Ausführungsvarianten Verschalung	10/2018	x	x
H-Schutz 3	Befestigung geschlossene Verschalung	10/2018	x	x
H-Schutz 4	Befestigung offene Verschalung	10/2018	x	x
H-Schutz 5	Verschalung mit Rhombusleisten	10/2018	x	x
H-Schutz 6	Befestigung der Verschalung für Revision	10/2018	x	x
H-Schutz 7	Varianten Verschalung Trogträger	10/2018	x	(x)
H-Schutz 8	Schutz Längsträger unter Bohlenbelägen	10/2018	x	
H-Trog 1	Anschluss Querrahmen bei Trogbrücken	10/2018	x	(x)
H-Trog 2	Anschluss Endquerrahmen bei Trogbrücken	10/2018	x	(x)
H-Übe 1	Unterkonstruktion für wasserdichten Übergang mit einem Dichtprofil	10/2018	x	x
H-Übe 2	Übergang mit Schleppblech	10/2018	x	
H-Übe 3	Unterkonstruktion für wasserdichten Übergang aus Asphalt	10/2018	x	x
H-Übe 4	Überbauabschluss bei Bohlenbelag	10/2018	x	
H-Was 1	Brückenablauf	10/2018	(x)	x
H-Was 2	Trogbrücke seitliche Entwässerung	10/2018	x	(x)
H-Was 3	Tropftülle mit Sickerschicht bei Asphaltbelag	10/2018	x	x
H-Zug 1	Zugänglichkeit Widerlager	10/2018	x	x

# Querschnitt

1:5



- ① Asphaltbelag: Geh- und Radwegbrücken  $t_{ges} \geq 60$  mm, Straßenbrücken  $t_{ges} \geq 80$  mm
- ①a Gussasphalt Deckschicht  $t \geq 25$  mm bis 45 mm, ggf. mehrlagig
- ①b Gussasphalt Schutzschicht,  $t = 25$  mm
- ② geklebte Polymerbitumenbahn, 1-lagig mit Haftzugfestigkeit  $\geq 1,5$  N/mm<sup>2</sup> auf Grundierung auf Epoxidharzbasis mit Einstreuung nach **H-Dicht 1**
- ③ Randprofil mit Entwässerungsöffnung, mit Neigung in Holzwerkstoffplatte eingefräst, verschraubt und eingedichtet **H-Dicht 2**
- ④ Holzwerkstoffplatte, wasserfeste Verklebung für Nutzungsklasse 3, z.B. Furnierschichtholz (LVL), durch Teilgewindeschrauben mit Querträger verbunden
- ⑤ Tropfblech
- ⑥ Querträger mit Neigung der Oberseite 2,5 %, Befestigung auf Hauptträger nach Statik
- ⑦ Unterdeckbahn (sd- Wert  $\leq 0,5$  m)
- ⑧ Hauptträger

## Anwendung

Zur Sicherstellung des konstruktiven Holzschutzes werden geschlossene und dichte Beläge empfohlen.

Die Beläge auf Brücken über Straßen und Gleisanlagen sind geschlossen auszubilden.

ProTimB

Forschungsprojekt FH Erfurt

Geschlossener Belag  
(Asphalt)

Musterzeichnung

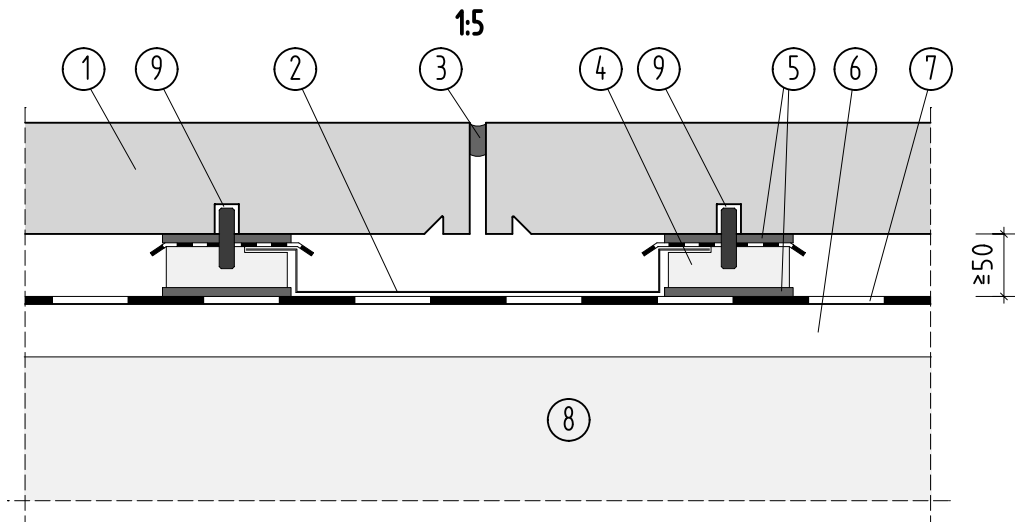
H-Belag 1

Wartungsbauteil

10-20 18

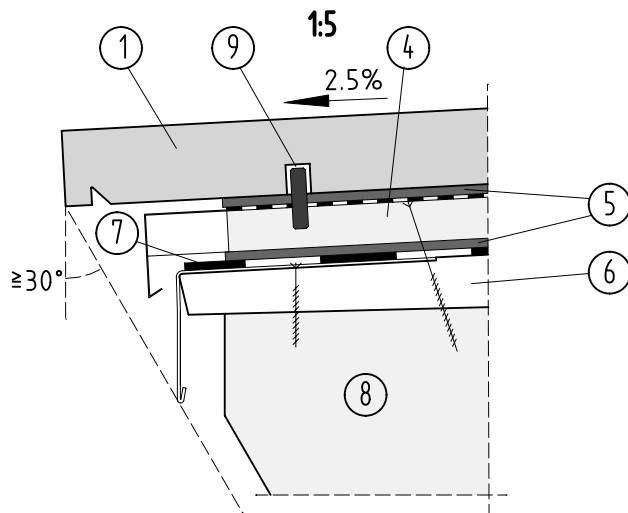


## Längsschnitt

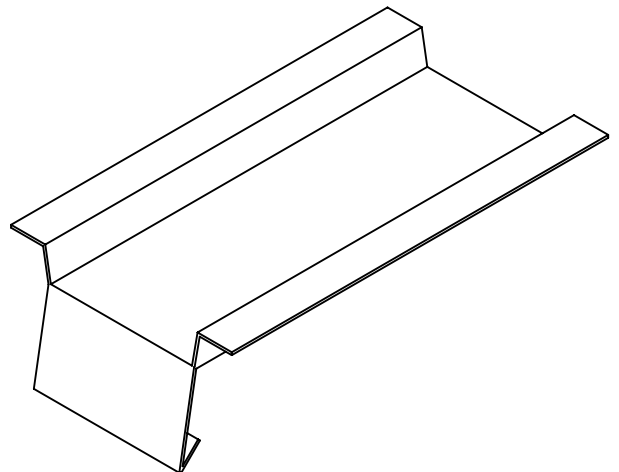


- ① Naturstein-/ Betonplatten mit umlaufender Tropfkante
- ② gekantete Rinne mit Wasserspeicher
- ③ elastische Fugenfüllung gegen Schmutzeintrag
- ④ Lagerholz, Holzart mit Dauerhaftigkeitsklasse  $\leq 3$ , mit Hauptträger verschraubt
- ⑤ Elastomerstreifen/ Schutzlage, z.B. Gummigranulat  $\geq 6$  mm
- ⑥ Holzwerkstoffplatte, wasserfeste Verleimung für Nutzungsklasse 3 (z.B. Furnierschichtholz (LVL))
- ⑦ Dichtungsschichten nach H-Dicht 1
- ⑧ Hauptträger
- ⑨ Ausnehmung in Belagsplatte und Schubnocke in Lagerholz (z.B. Stabdübel, korrosionsbeständig)

## Querschnitt



## Prinzip Rinne mit Wasserspeicher



### Anwendung

Befestigung und Auflager offener Belag auf Abdichtung nach H-Dicht 1  
Bei großformatigen Naturstein- oder Stahlbetonplatten als Schutz- und Nuttschicht Entwässerungsrinnen unter Stößen vorsehen!

### ProTimB

Forschungsprojekt FH Erfurt

Befestigung  
Plattenbelag  
auf Abdichtung

Musterzeichnung

**H-Belag 2**

Wartungsbauteil

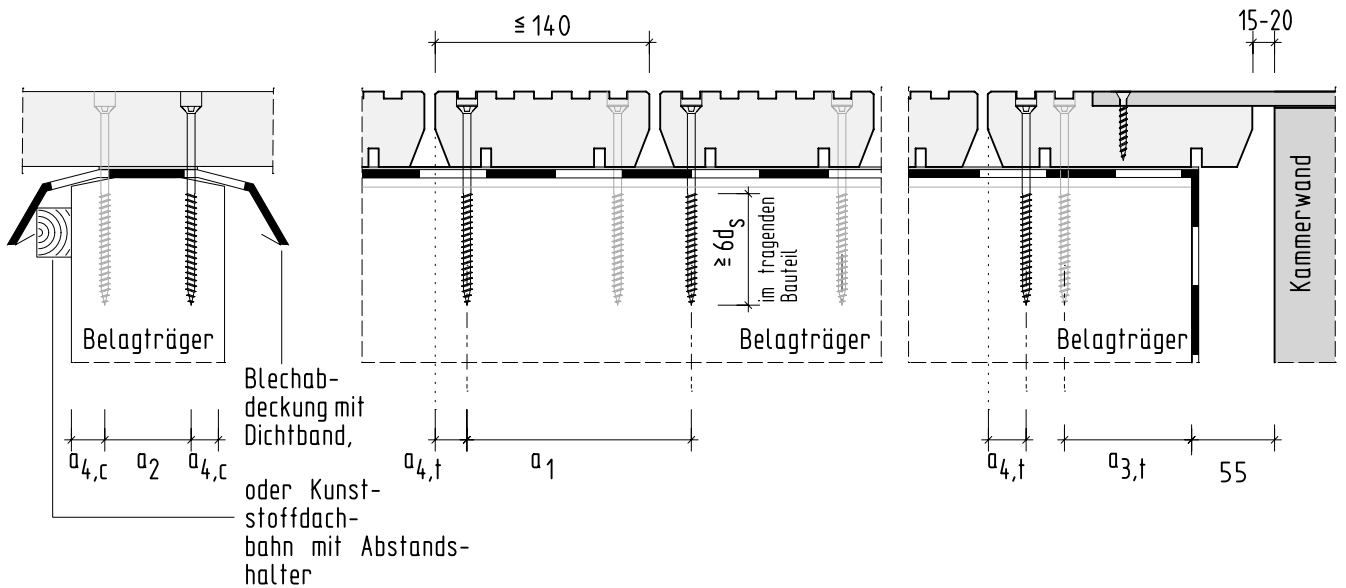
10-20 18

# Querschnitt

1:5

# Längsschnitt

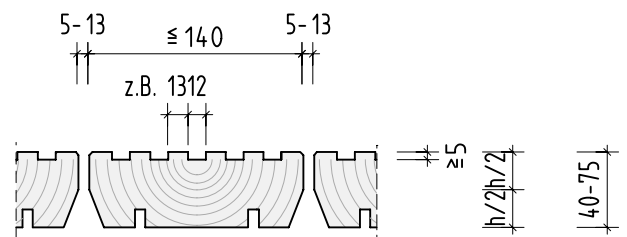
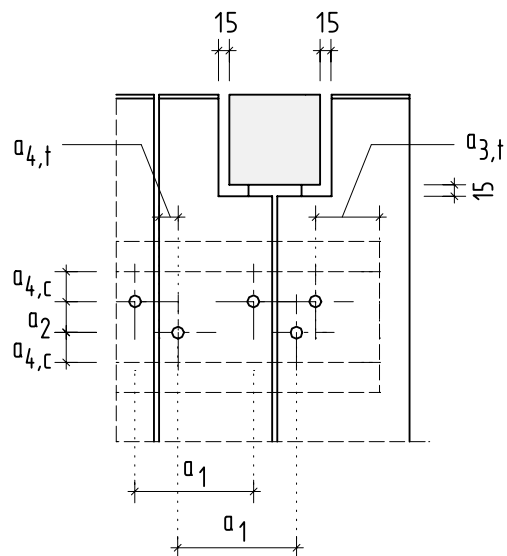
1:5



Befestigung mit Teilgewindeschrauben

offener Bohlenbelag aus Hölzern mit hoher natürlicher Dauerhaftigkeit und Entlastungsnuten (z.B. Lärche oder Eiche)

## Endbohle und Aussparung Geländer 1:10



### Befestigung mit Teilgewindeschrauben mit Zulassung

- Randabstände nach Zulassung
- Vorbohren in spröden Hölzern empfohlen, Bohrdurchmesser kleiner Kerndurchmesser
- Gewinde nur im Längsträger
- Schraubenköpfe unter Verschleißschicht absenken
- Maßangaben in [mm]

### ProTimB

Forschungsprojekt FH Erfurt

Offener Bohlenbelag für  
Fuß- und Radwegbrücken  
Bohlendicke  $d = 40 \dots 75$  mm

Musterzeichnung

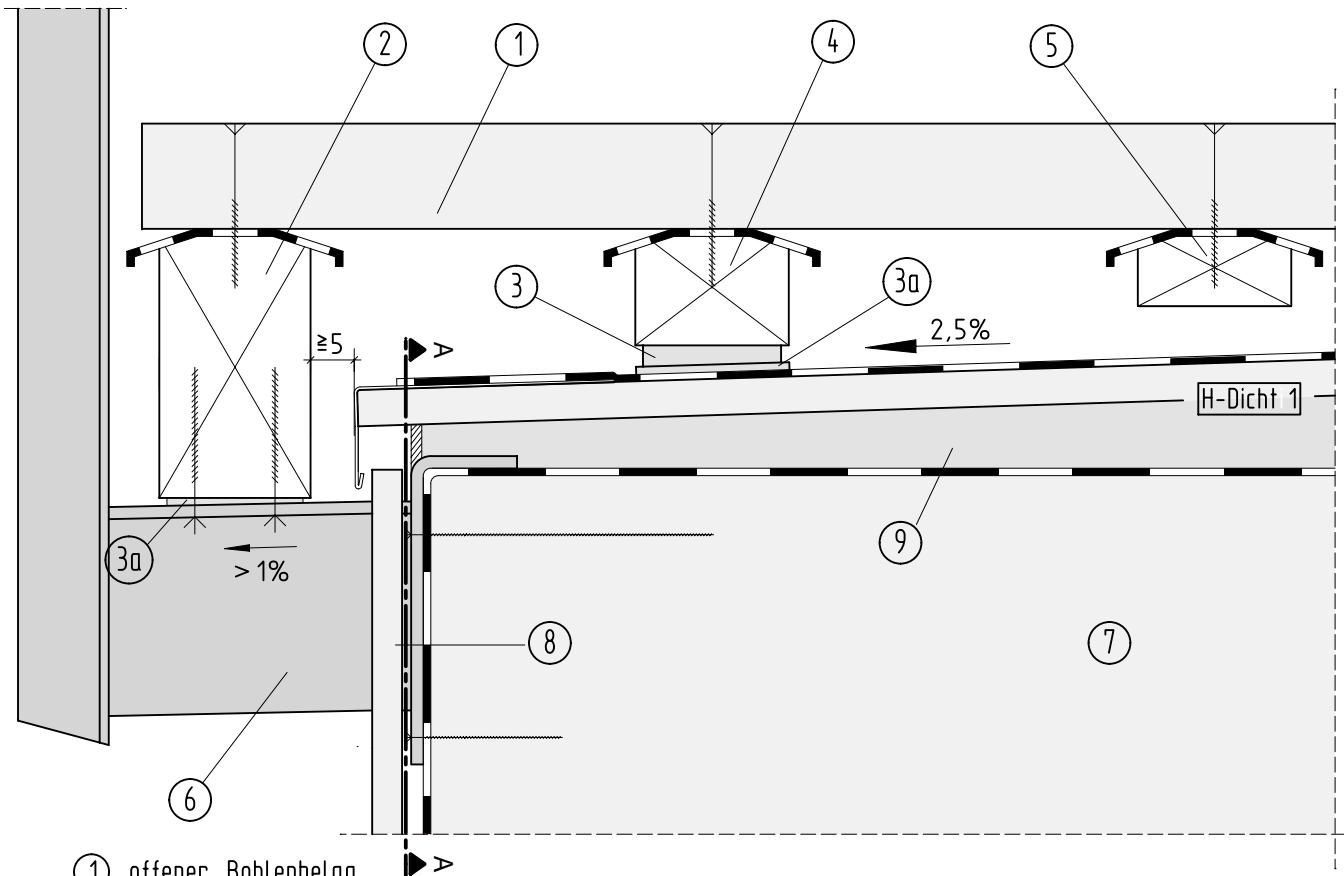
H-Belag 3

Wartungsbauteil

10-20 18

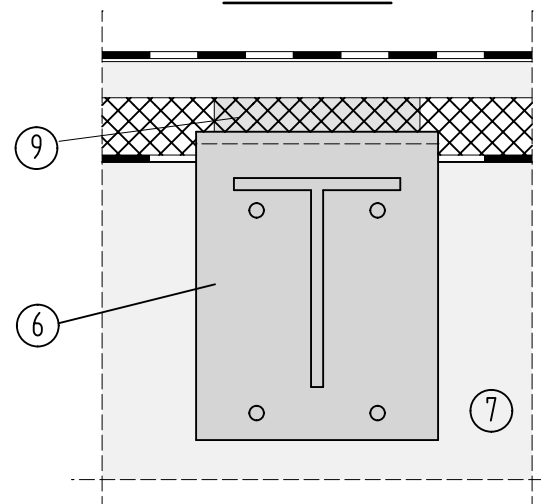
# Querschnitt

1:5



- ① offener Bohlenbelag
- ② Belagträger, Befestigung gegen abhebende und horizontale Kräfte durch Schrauben in Längsrichtung und unter einen Winkel angeordnet, befestigt außerhalb der Dichtungsebene, z.B. am Geländerträger
- ③ punktuelle Lagerung auf Elastomerauflager oder Kunststoffplatte mit Entwässerungsnuten
- ③a Bautenschutzmatte (Gummischrot)
- ④ Belagträger
- ⑤ Lastverteilungsbohle ohne Auflager
- ⑥ Befestigung Geländer und Aufnahme der horizontalen und vertikalen Lasten aus Bohlenbelag
- ⑦ Hauptträger
- ⑧ Verschalung
- ⑨ Kantholz für Hinterlüftungsebene

## Schnitt A-A



### Anwendung

Befestigung und Auflager offener Belag auf Abdichtung nach H-Dicht 1

### ProTimB

Forschungsprojekt FH Erfurt

Befestigung  
Bohlenbelag  
auf Abdichtung

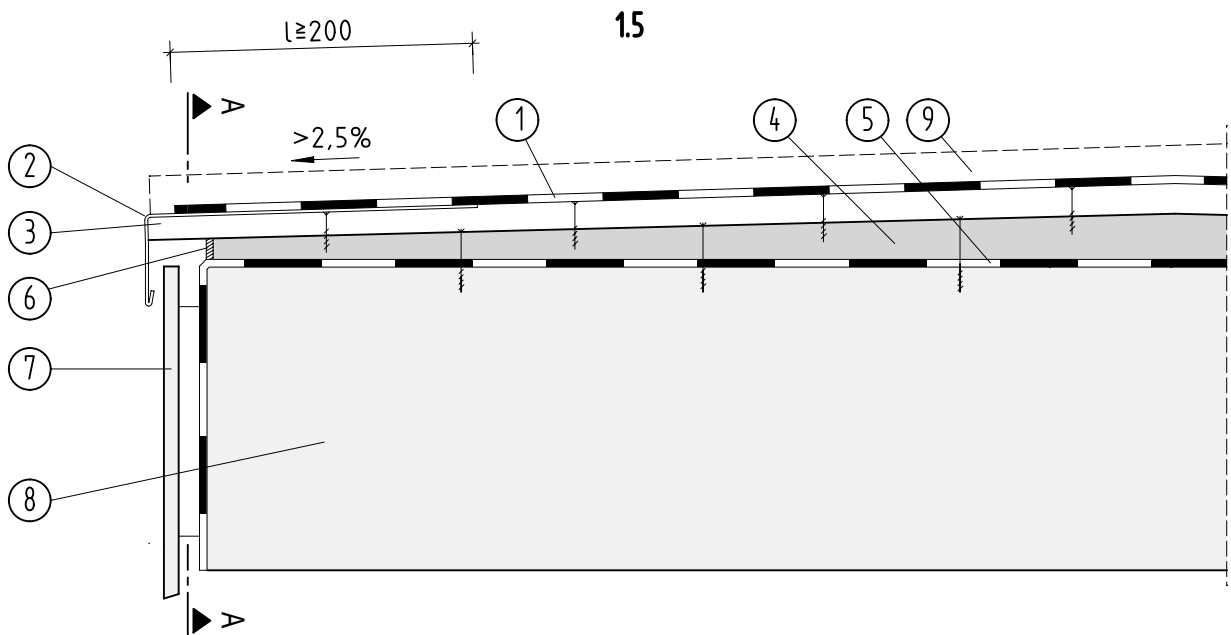
Musterzeichnung

H-Belag 4

Wartungsbauteil

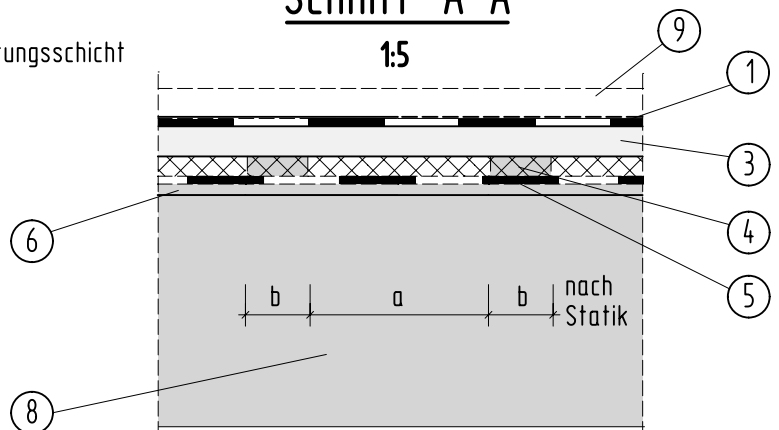
10-20 18

# Querschnitt



- ① a) Dichtungsschicht Bitumen-Schweißbahn oder Kunststoffbahn nach DIN 18531 und DIN 18532 für Anwendungsklasse K2  
b) Doppelstehfalzdeckung ab Querneigung 5,5 %
- ② Ortblech
- ③ Brettchalung oder Schalung aus Holzwerkstoffplatten auf ④ Kantholz verschraubt,  $d > 24$  mm mit Eignung für Nutzungsklasse 3
- ④ Kantholz für Hinterlüftungsebene, Oberseite mit Querneigung, Breite  $b$  und Abstand  $a$  nach Statik, auf Hauptträger verschraubt
- ⑤ Unterdeckbahn, diffusionsoffen ( $s_d$ - Wert  $\leq 0.5$  m)
- ⑥ Insektenschutzgitter im Bereich Hinterlüftungsebene
- ⑦ seitliche Verschalung
- ⑧ Hauptträger
- ⑨ Schutzlage oder Schutzschicht für Dichtungsschicht

## Schnitt A-A



Abdichtung nach DIN 18531 und Regeln für Flachdächer aus Bitumenbahn, Kunststoffbahn oder Stehfalz- Blech auf Unterdeckung

Schutzlage z.B.: Gummigranulat  $\geq 6$  mm, Kunststoffgranulat  $\geq 4$  mm, Kunststoff- oder Elastomerbahn  $\geq 1,2$  mm

ProTimB  
Forschungsprojekt FH Erfurt

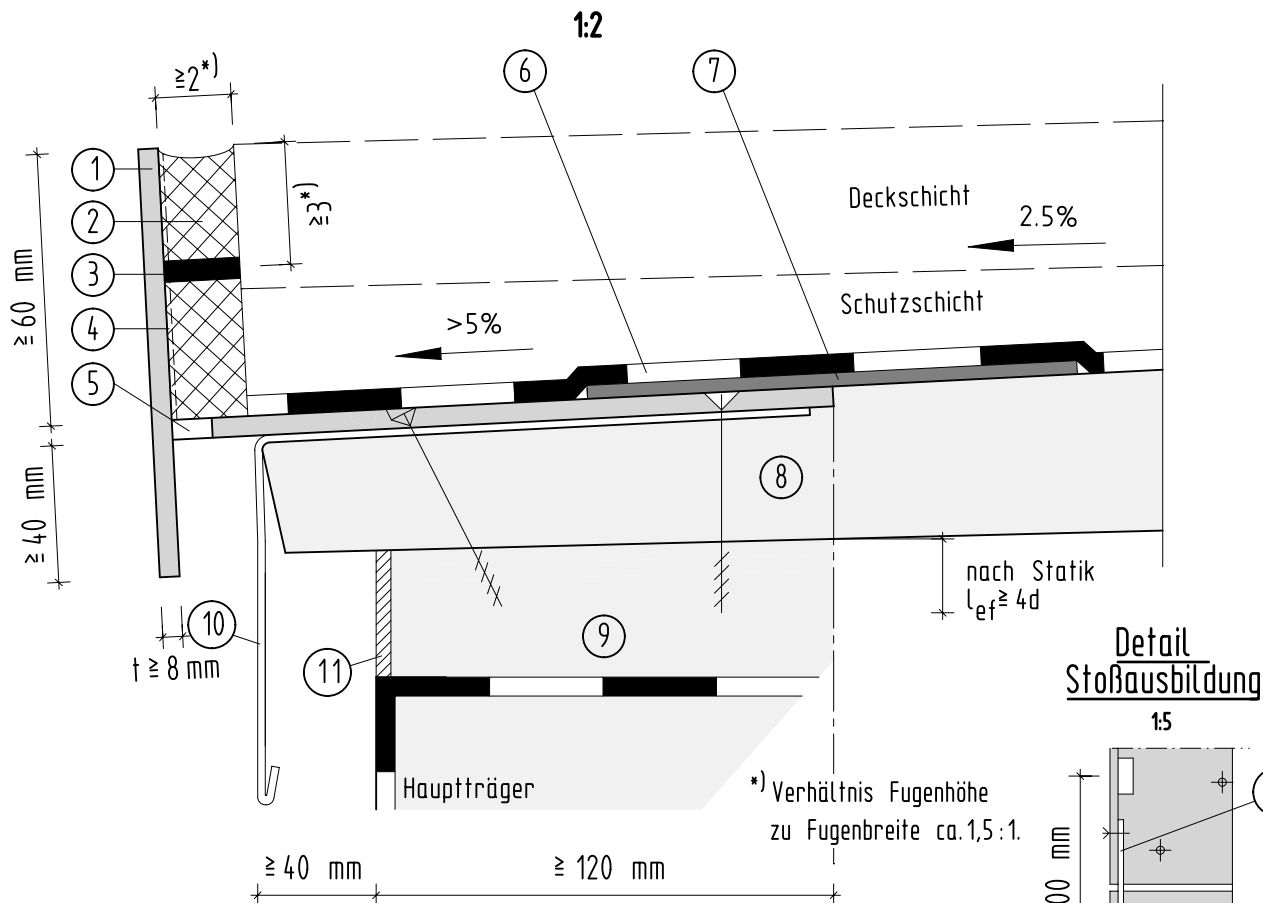
Flächige Abdichtung  
bei Plattentragwerken

Musterzeichnung

H-Dicht 1

10-20 18

# Querschnitt



- ① Abschlussblech, korrosionsbeständig auch gegen Chloridangriff
- ② Fugenvergussmasse, Voranstrich, Unterfüllstoff nach TL Fug-Stb
- ③ Unterfüllstoff bzw. Trennstreifen gemäß ZTV-Ing 7-1, 7-2, 7-3
- ④ Haft- und Grundierungsschicht auf Kunstharzbasis oder bitumenhaltig nach ZTV-Ing 7-4
- ⑤ Entwässerung z.B. Langloch 10×30 mm
- ⑥ Dichtungsschicht nach **H-Dicht 1** oder Flüssigkunsstoff nach DIN 18532 im Randbereich
- ⑦ Verstärkungsstreifen unter Bitumenschweißbahn wie **H-Dicht 3**
- ⑧ Unterkonstruktion für Fahrbahnaufbau aus Holzwerkstoffplatte, mit ⑨ verschraubt
- ⑨ Querträger
- ⑩ Tropfblech
- ⑪ Insektenschutz
- ⑫ Verbindungsblech bei Stößen des Randwinkels mit Langlöchern für Dehnungsausgleich und gegen Austreten von Asphaltanteilen bei Herstellung

Anwendungsbereich: Randabschlüsse, Einbauteile oder Übergangskonstruktionen aus Stahl

ProTimB  
Forschungsprojekt FH Erfurt

Randabschluss  
Asphaltschichten  
mit Metallprofil

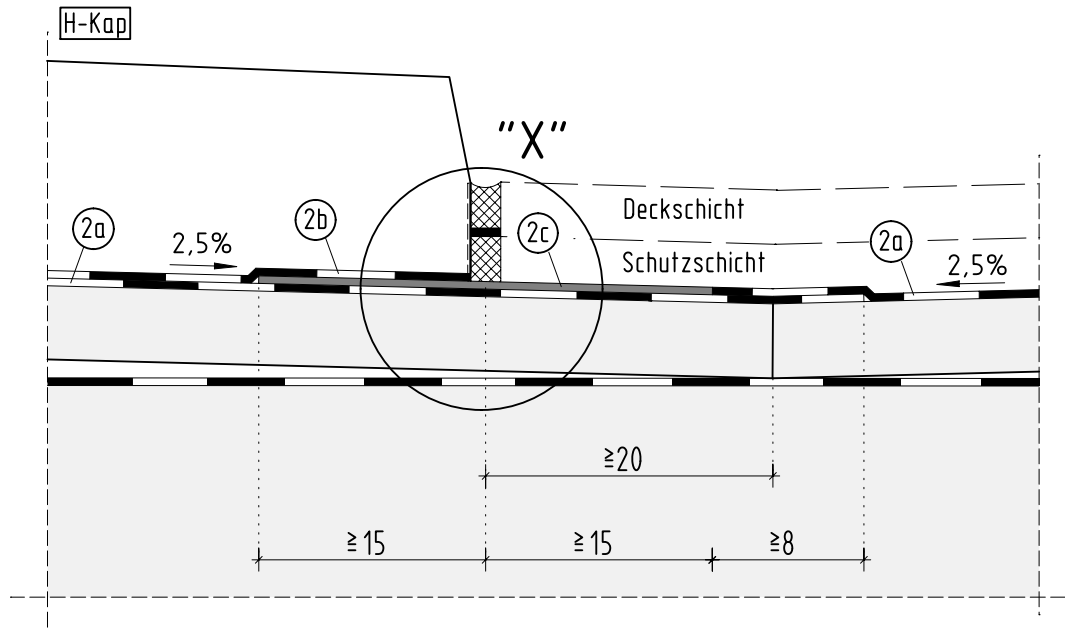
Musterzeichnung

**H-Dicht 2**

10-20 18

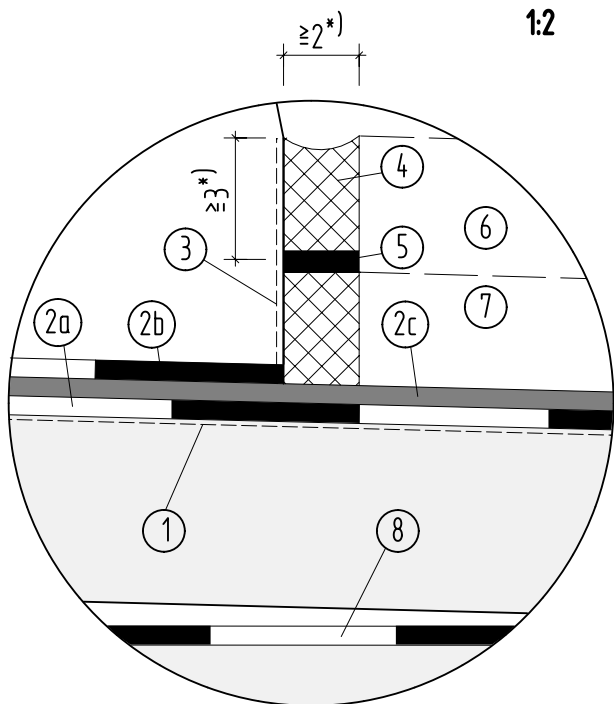
# Querschnitt

1:5



## Detail "X"

1:2



- ① Voranstrich auf Holz (z.B. Epoxidharz mit Einstreuung)
- ②a Dichtungsebene aus Grundierung+ Bitumenschweißbahn, einlagig verklebt nach **Dicht 3**, oder Flüssigkunststoff auf Grundierung nach **Dicht 7**
- ②b Schutzschicht der Abdichtung unter Kappe, als verklebte Glasvlies- Bitumenschweißbahn
- ②c Verstärkungsstreifen aus Bitumenschweißbahn, oder Edelstahlband unter der Fuge
- ③ Voranstrich auf Beton
- ④ Fugenvergussmasse
- ⑤ Unterfüllstoff bzw. Trennstreifen gemäß ZTV-ING 7-1, 7-2, 7-3
- ⑥ Deckschicht
- ⑦ Schutzschicht
- ⑧ Unterdeckbahn, diffusionsoffen auf Hauptträger (sd- Wert  $\leq 0.5$  m)

\*) Verhältnis Fugenhöhe zu Fugenbreite ca.1,5:1.

Fugenausbildung für Beläge nach ZTV-ING 7-1, 7-2, 7-3.  
Im Asphalt sind immer Fugen, keine Nähte auszuführen!

Ausführung nach **Dicht 3**

ProTimB

Forschungsprojekt FH Erfurt

Fugenausbildung  
zu Betonkappe

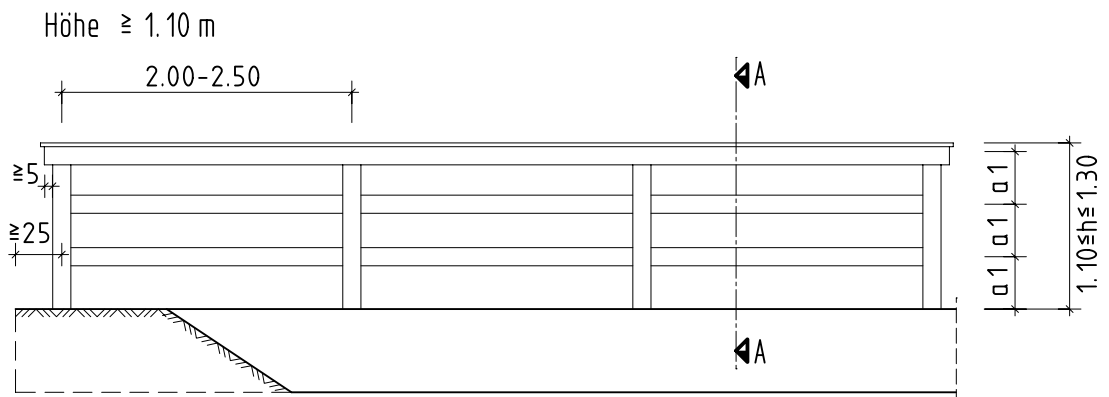
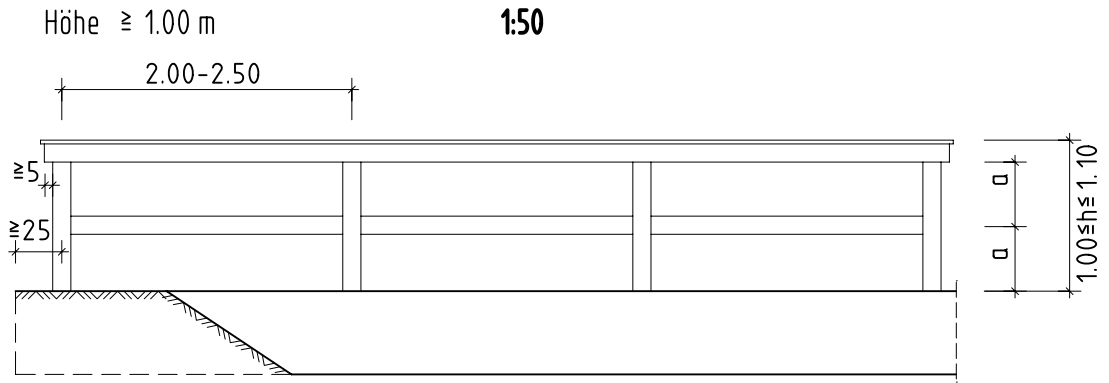
Musterzeichnung

H-Dicht 3

10-20 18

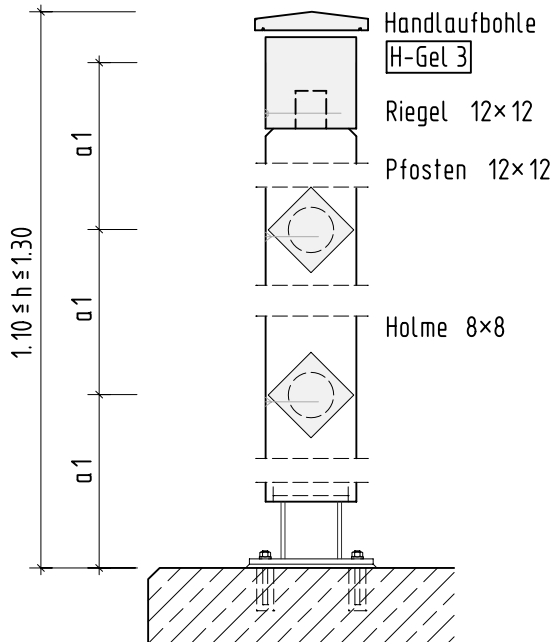
# Ansicht

1:50



# Schnitt A-A

1:10



Anwendung: neben Betriebs- und Notgehwegen

ProTimB

Forschungsprojekt FH Erfurt

Holmgeländer

Wartungsbauteil

Musterzeichnung

H-Gel 1

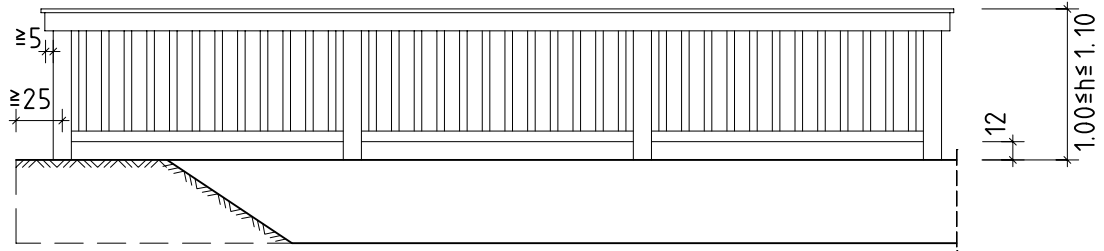
10-20 18

# Ansicht

1:50

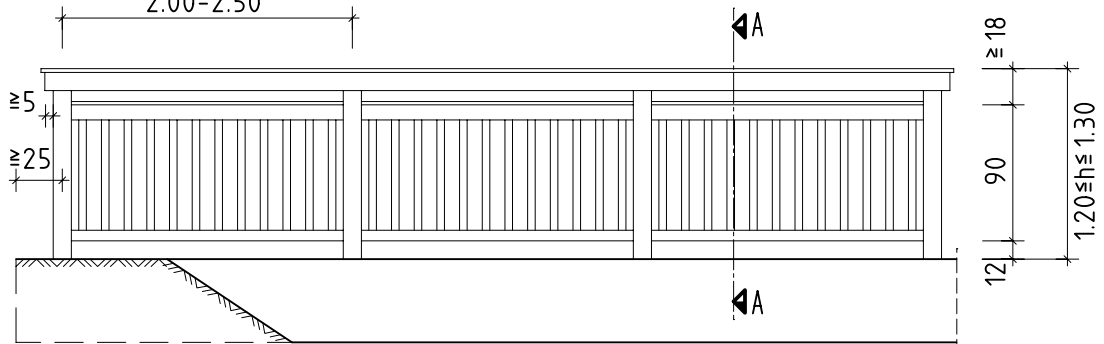
Höhe  $\geq 1.00$  m

2.00-2.50



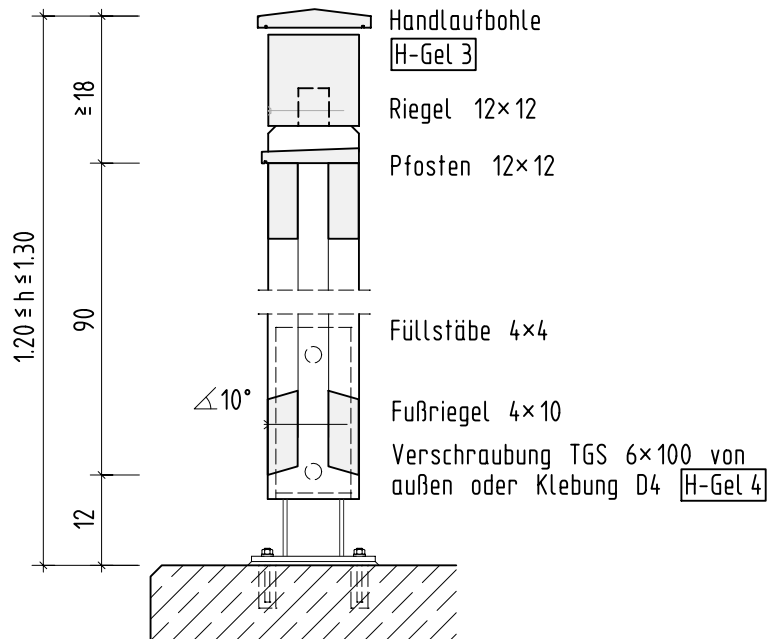
Höhe  $\geq 1.20$  m

2.00-2.50



# Schnitt A-A

1:10



Anwendung: neben Geh- und Radwegen, bei Radverkehr  $h_{\min} = 1.30$  m

ProTimB

Forschungsprojekt FH Erfurt

Füllstabgeländer

Musterzeichnung

H-Gel 2

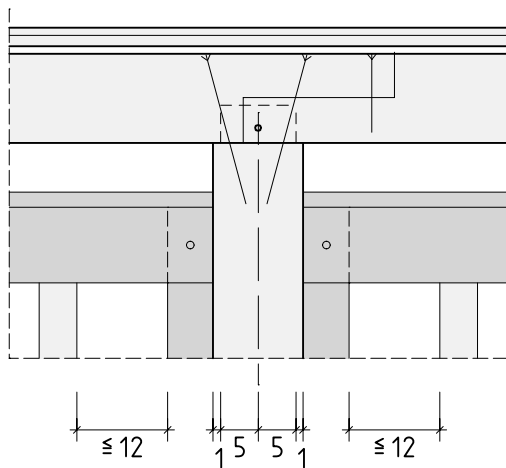
Wartungsbauteil

10-20 18



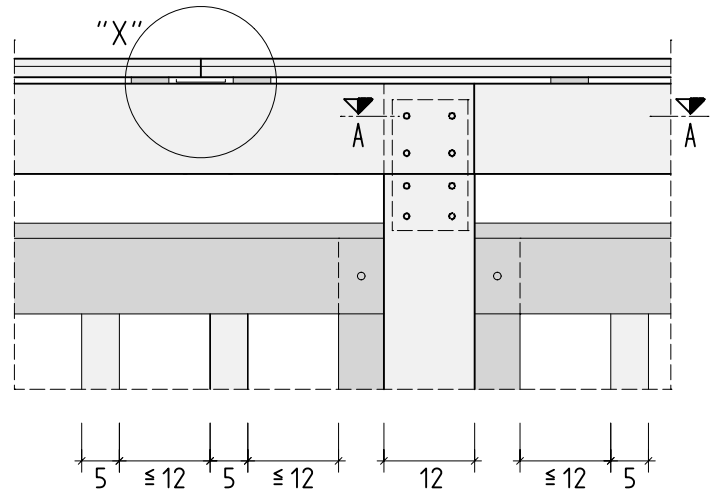
# Handlaufstoß Variante 1

Liegendes Blatt 1:10



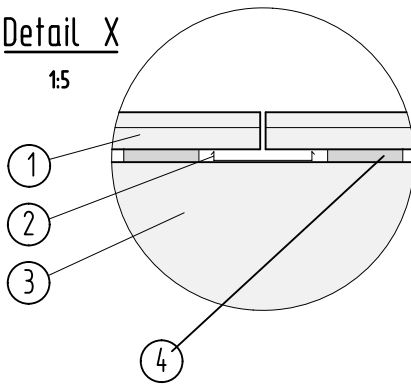
# Handlaufstoß Variante 2

Schlitzblech 1:10



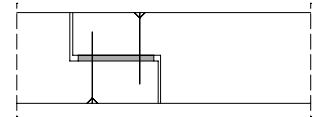
## Detail X

1:5



## Schnitt A-A

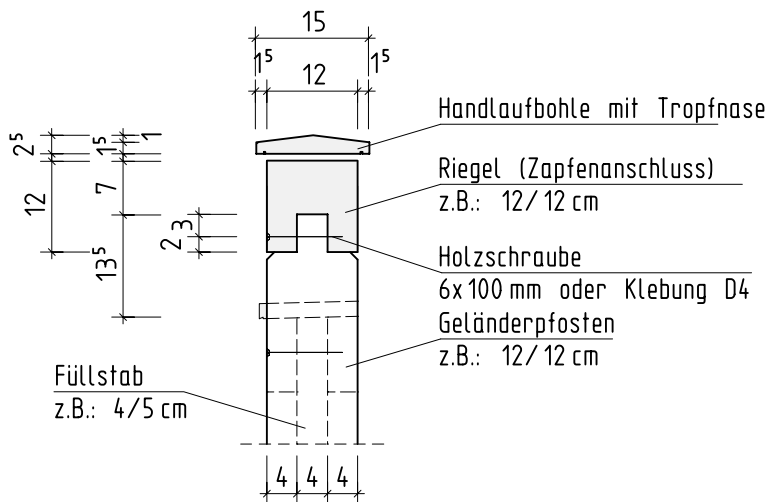
Montagestoß mit stehender Blattverbindung über Stütze, Schlitzblech  $t = 6\text{ mm}$  zur Befestigung an Stütze



- ① Handlaufbohle  $15/2,5\text{ cm}$ , Stoß außerhalb des Riegelstoßes anordnen, auf Querhölzern verleimt (D4) oder geschraubt mit TG-Schrauben
- ② Abdichtung unter Stoß (gekantetes Tropfblech o.ä.)
- ③ Riegel  $b/h = 12/12$  od.  $12/10\text{ cm}$ ,
- ④ Querhölzer

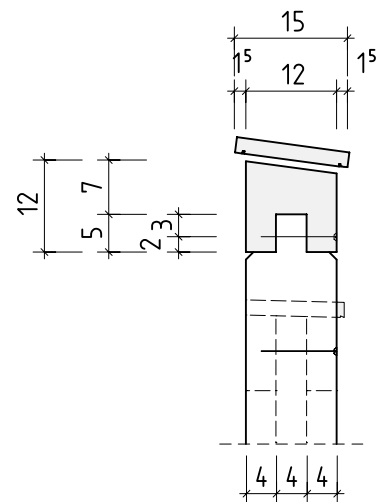
# Deckbrett Variante 1

Satteldachprofil 1:10



# Deckbrett Variante 2

Pultdachprofil 1:10



Verwendung von Holzarten mit hoher natürlicher Dauerhaftigkeit  
z.B. Lärche, Eiche, Robinie oder modifiziertes Holz

ProTimB

Forschungsprojekt FH Erfurt

Holzgeländer  
Handlauf

Musterzeichnung

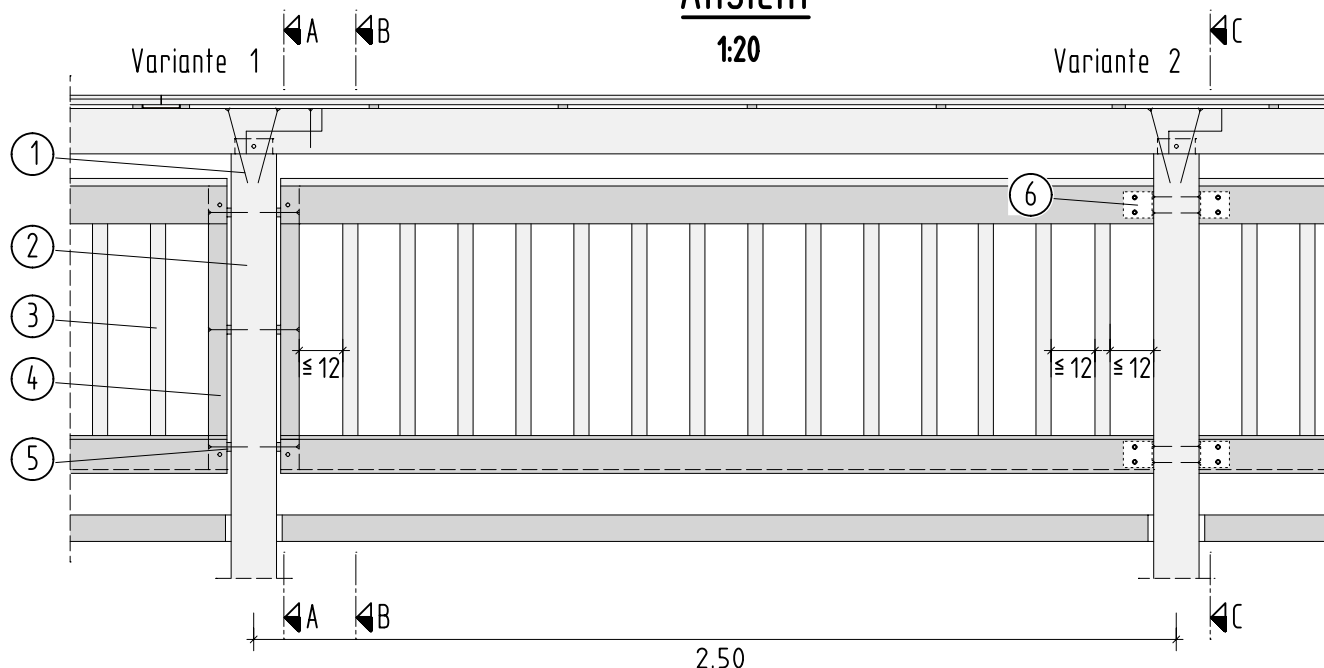
H-Gel 3

Wartungsbauteil

10-20 18

# Ansicht

1:20

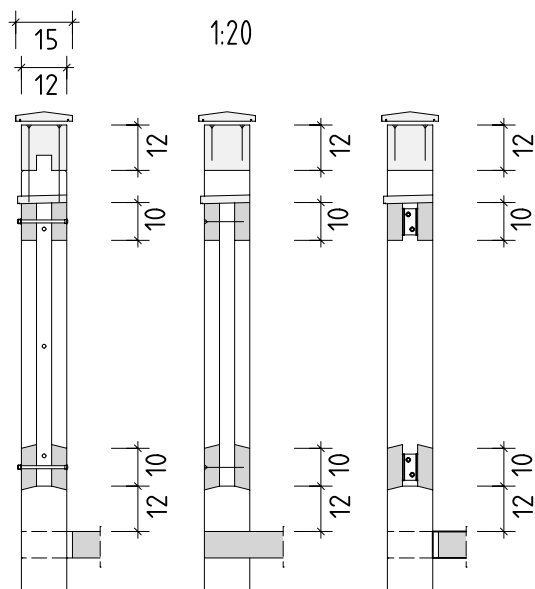


Schnitt A-A

Schnitt B-B

Schnitt C-C

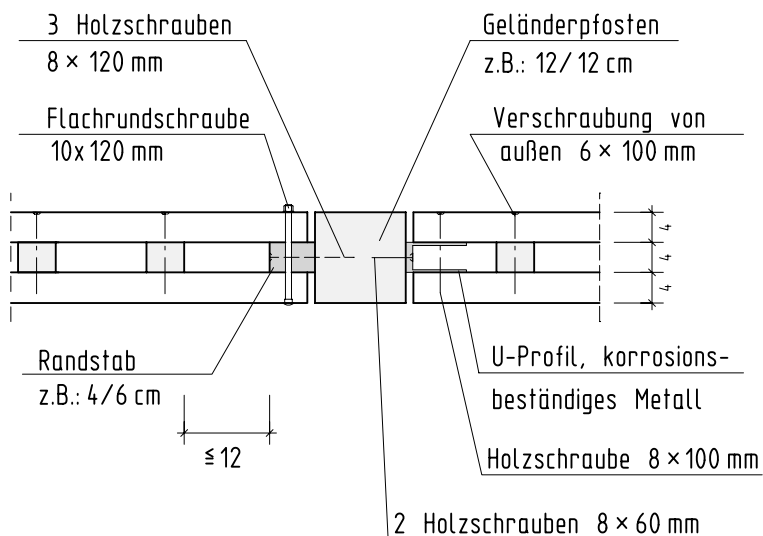
Riegelanschluss



Variante 1

1:10

Variante 2



- ① VG-Schraube 8×200 mm; Neigung 30° zum Pfosten
- ② Pfosten 12/12 cm, Zapfen oder Schlitzblech zur seitlichen Fixierung mit Sicherungsschraube im Riegel
- ③ Füllstabsegment vormontiert, Randstab mit Flachrundschrabe mit Vierkantansatz befestigt
- ④ Randstab 4/6 cm am Pfosten verschraubt (Holzschraube 6×120 mm)
- ⑤ Distanzscheibe  $t=10$  mm
- ⑥ U-Profil aus korrosionsbeständigem Metall

Verwendung von Holzarten mit hoher natürlicher Dauerhaftigkeit, z.B.: Lärche, Eiche, Robinie oder modifiziertes Holz  
 Verbindungsmittel Edelstahl mind. A2

Montagereihenfolge Geländer

- 1) Anschluss Geländerpfosten an Hauptträger **H-Gel 5**
- 2) Anschluss Randstab oder U-Profil an Geländerpfosten
- 3) Einschieben und Befestigen der vorgefertigten Füllungen,
- 4) Aufsetzen Deckbrett der Füllung
- 5) Aufsetzen und Befestigung Geländerriegel
- 6) Aufsetzen und Befestigung der Handlaufbohle

ProTimB

Forschungsprojekt FH Erfurt

Füllungen für  
 Füllstabgeländer  
 $1,20 \leq h \leq 1,30$  m

Musterzeichnung

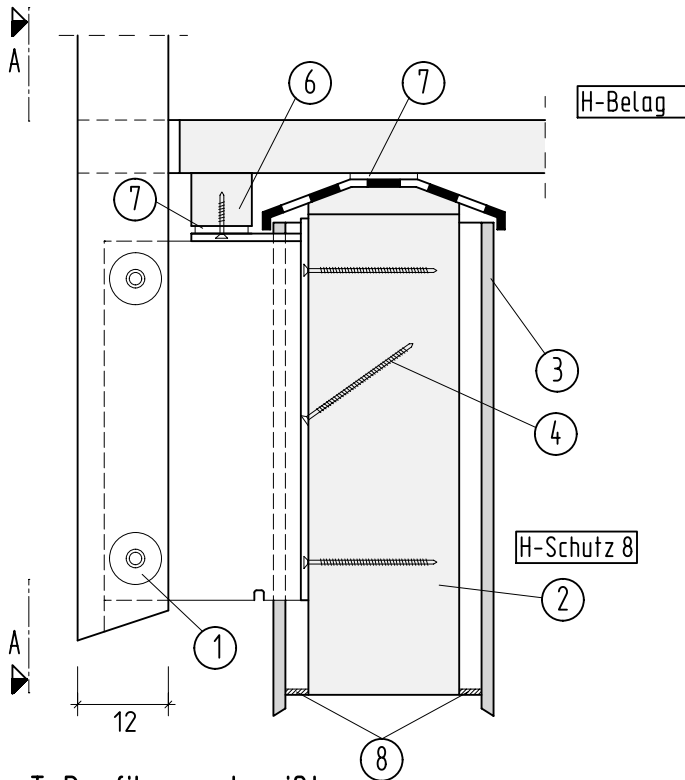
H-Gel 4

Wartungsbauteil

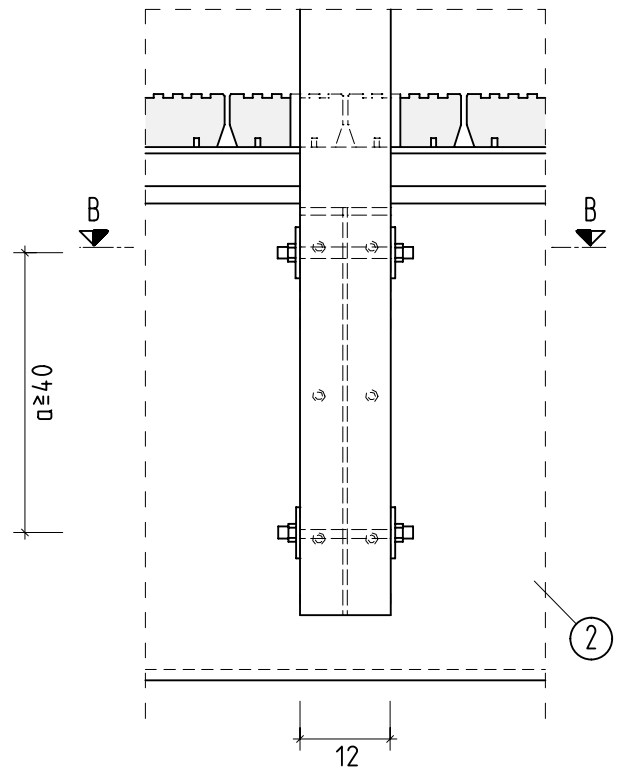
10-20 18

# Querschnitt

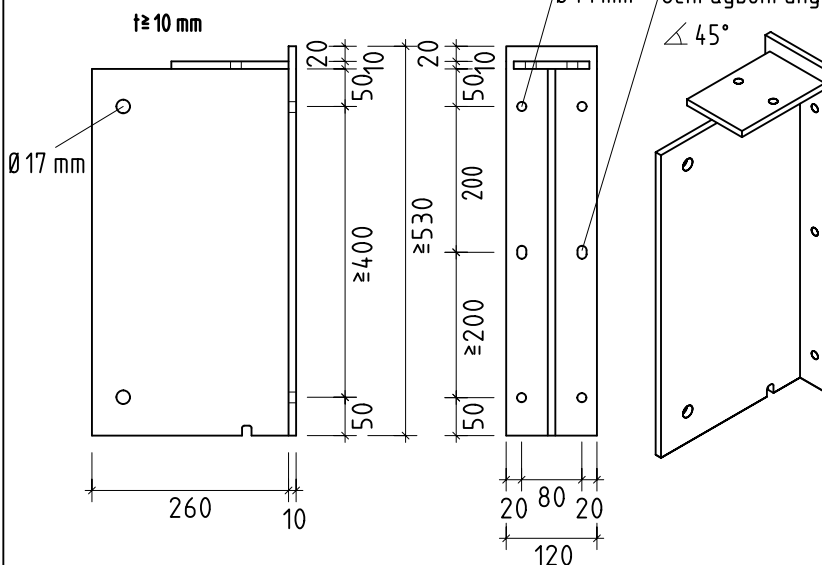
1:10



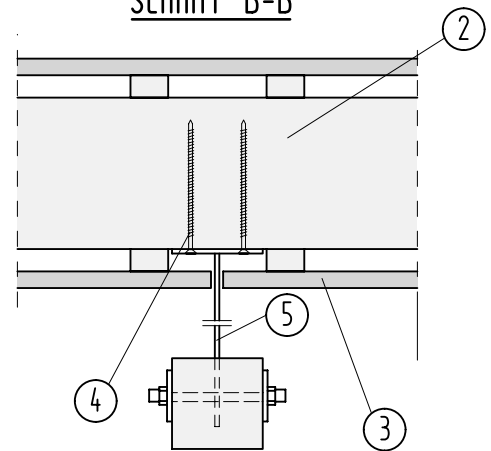
# Ansicht A-A 1:10



## T-Profil geschweißt



## Schnitt B-B



- ① Passbolzen oder Gewindestangen  $\geq$  M16 4.6 mit Unterlagscheiben
- ② Hauptträger
- ③ Verschalung (bei geschlossenen Belag kann Innenverschalung entfallen)
- ④ Vollgewindeschrauben  $d = 10$  mm
- ⑤ T-Profil geschweißt BL.10×260×500 mm und 10×120×530 mm
- ⑥ Lagerholz für offenen Belag
- ⑦ Bautenschutzmatte (Gummischrot)
- ⑧ Insektenschutz

Anschluss über eingeschlitztes Stahlprofil

ProTimB

Forschungsprojekt FH Erfurt

Holzgeländer  
Anschluss Geländerpfosten  
mit Stahlteil

Musterzeichnung

H-Gel 5

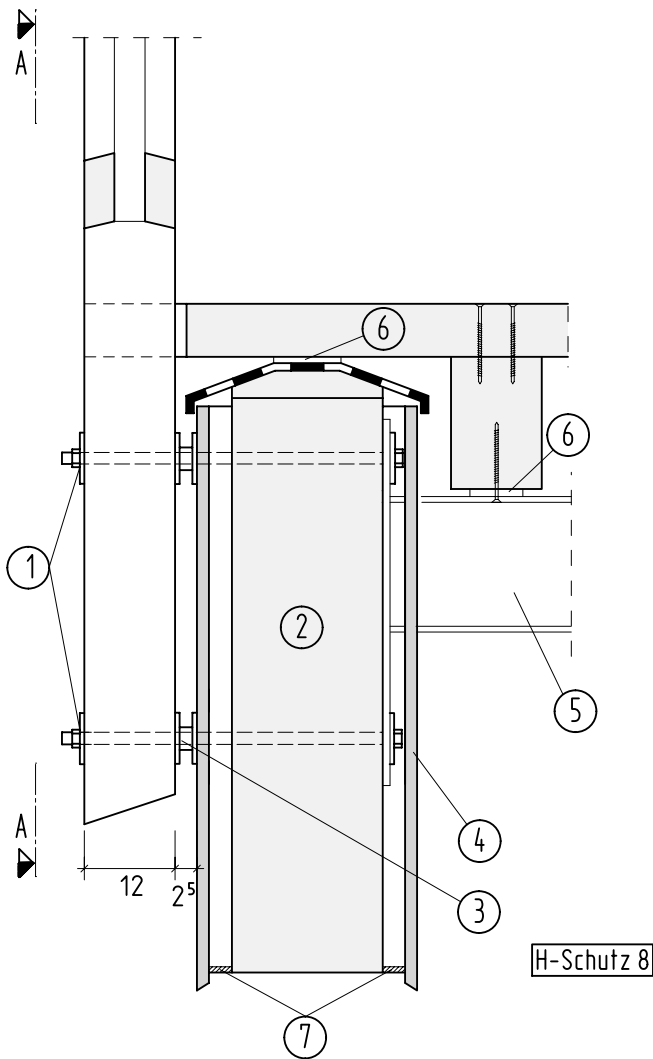
Blatt 1

Wartungsbauteil

10-20 18

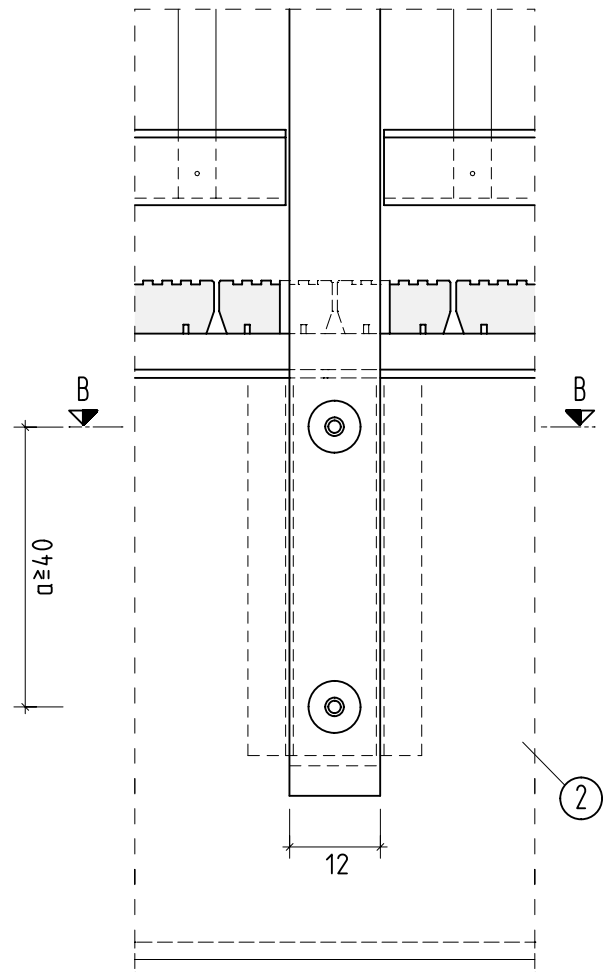
# Querschnitt

1:10

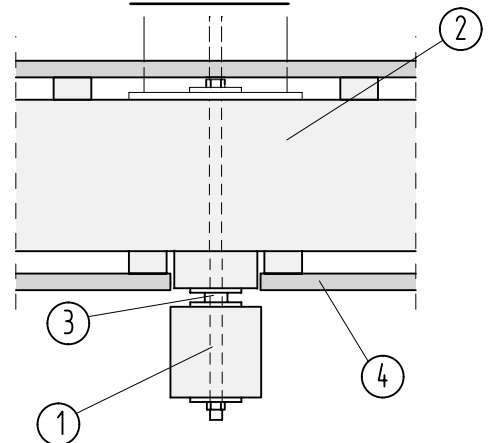


- ① Passbolzen oder Gewindestangen  $\geq M16$  4.6 mit schweren Unterlagscheiben  $d_U > 4d_{SR}$
- ② Hauptträger
- ③ Distanzstücke Kunststoff oder Stahlrohr mit angeschweißten Unterlagscheiben
- ④ Verschalung
- ⑤ Querträger mit Kopfplatte
- ⑥ Bautenschutzmatte (Gummischrot)
- ⑦ Insektenschutz

## Ansicht A-A 1:10



## Schnitt B-B



ProTimB

Forschungsprojekt FH Erfurt

Holzgeländer  
Anschluss Geländerpfosten  
und Querträger

Wartungsbauteil

Musterzeichnung

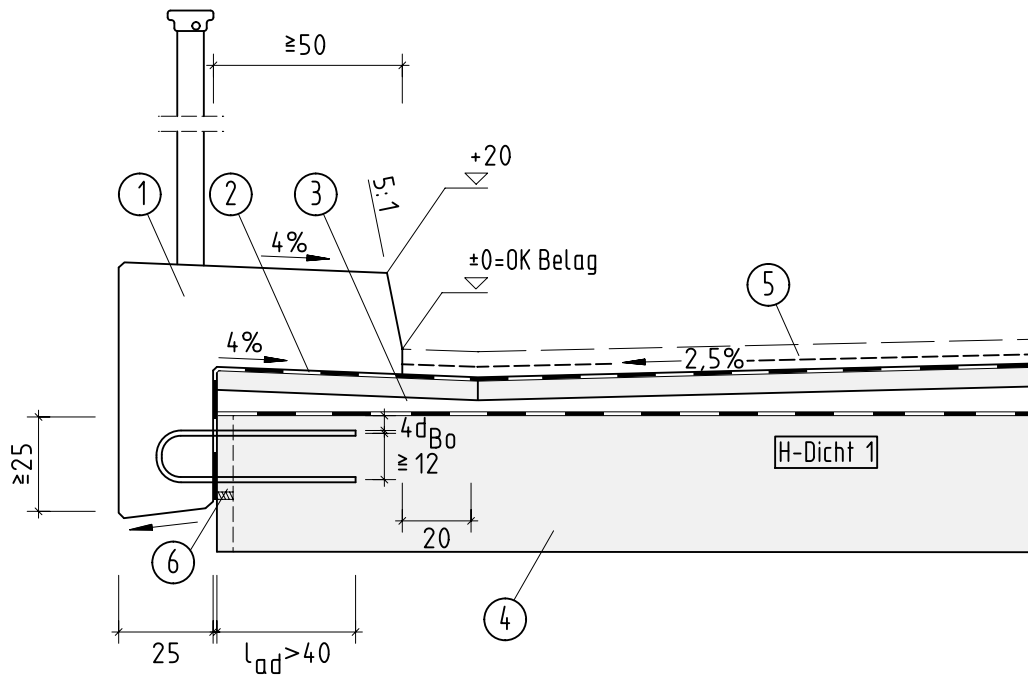
H-Gel 5

Blatt 2

10-20 18

# Querschnitt

1:20



- ① Kappe (Ortbeton)
- ② Dichtebene [H-Dicht 1]+[H-Dicht 3]
- ③ Unterkonstruktion: Trägerrost mit Neigung, HWS-Platte
- ④ Hauptträger
- ⑤ Gussasphaltschicht
- ⑥ Belüftungskanal Zwischenebene 5 x 10 cm in Hauptträger eingefräst, mit Insektenschutz, außerhalb Anschlussbügel, Abstand ca. 100 cm

Kappenausbildung nach [Kap 6]

Bügel im Feld:  $D = 14 \text{ mm}$ ,  $a_1 = 25 \text{ cm}$ , Einklebelänge im Holz  $l_{ad} \geq 40 \text{ cm}$

Bügel am Brückenende auf  $150 \text{ cm}$ :  $D = 16 \text{ mm}$ ,  $a_1 = 18 \text{ cm}$ ,  $l_{ad} \geq 40 \text{ cm}$

Bewehrungsstahl B500B, verzinkt, mit Epoxidharz in Holz eingeklebt nach DIN 1052-10:2012 Abs. 6.4 und DIN EN 1995-1-1 NA:2013 NC/NA.11.1

Kappen und Fahrbahnaufbau:

Unterkonstruktion für Fahrbahnaufbau aus Holzwerkstoffplatten auf keilförmigen Lagerhölzern

ProTimB

Forschungsprojekt FH Erfurt

Anschluss  
Stahlbetonkappe  
(Ortbeton) für  
Wirtschaftswegbrücken

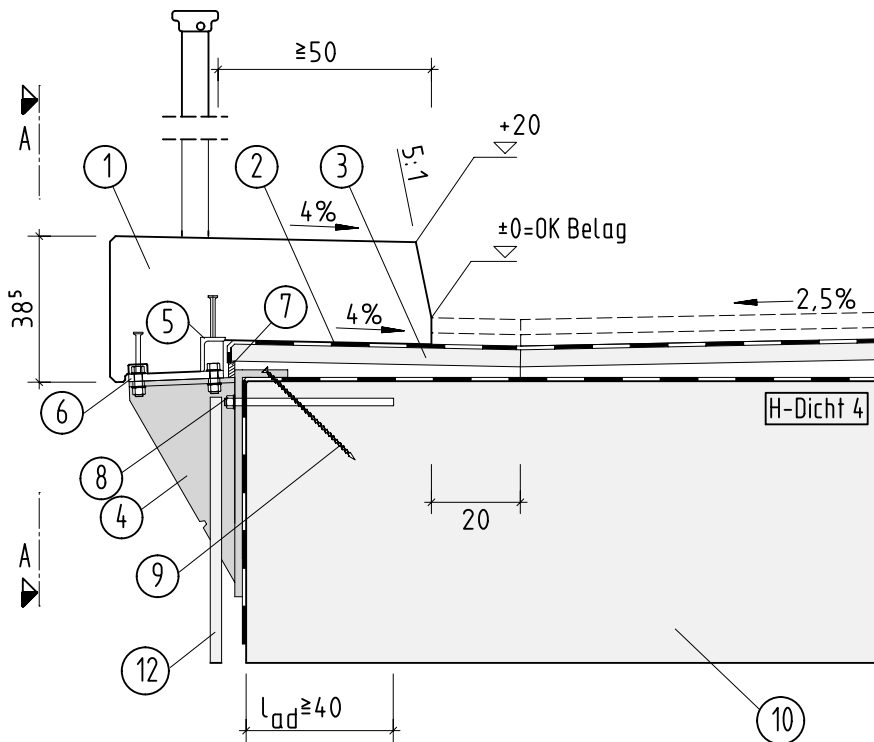
Musterzeichnung

H-Kap 1

10-20 18

# Querschnitt

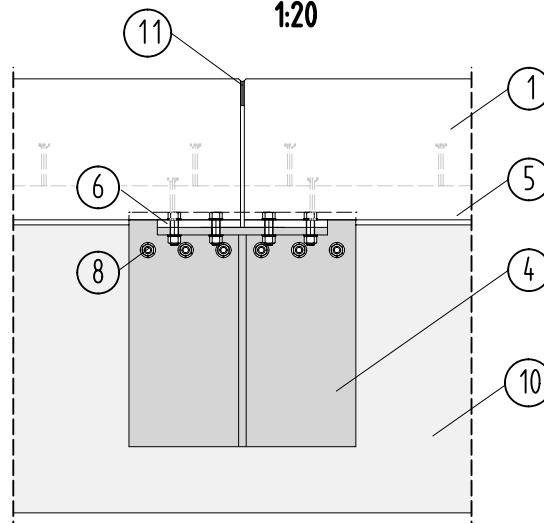
1:20



- ① Kappe (Fertigteil)
- ② Dichtebene
- ③ Unterkonstruktion: Trägerrost mit Neigung, HWS-Platte und Dichtbahn nach **H-Dicht 1**
- ④ Stahlsonderteil Kappen-Konsole
- ⑤ Winkel 90x65 [mm] auf gesamter Fertigteillänge mit Kopfbolzen-dübeln  $a = 20$  cm
- ⑥ Stahlplatte 200x250x20 [mm] zur Auflagerung und Befestigung des Fertigteils, mit Winkel verschweißt; mit BT4 verschraubt
- ⑦ Insektenschutz
- ⑧ eingeklebte Gewindestange M 20 mit  $l_{ad} = 400$  mm
- ⑨ Vollgewindeschrauben 10x320 [mm] zur Lagefixierung, schräg eingeschraubt
- ⑩ Hauptträger
- ⑪ dauerelastischer Fugenverguss
- ⑫ Verschalung

# Ansicht A-A

1:20



Kappenausbildung nach **Kap 6**

ProTimB

Forschungsprojekt FH Erfurt

Anschluss  
Stahlbetonkappe  
(Fertigteil) für  
Wirtschaftswegbrücken

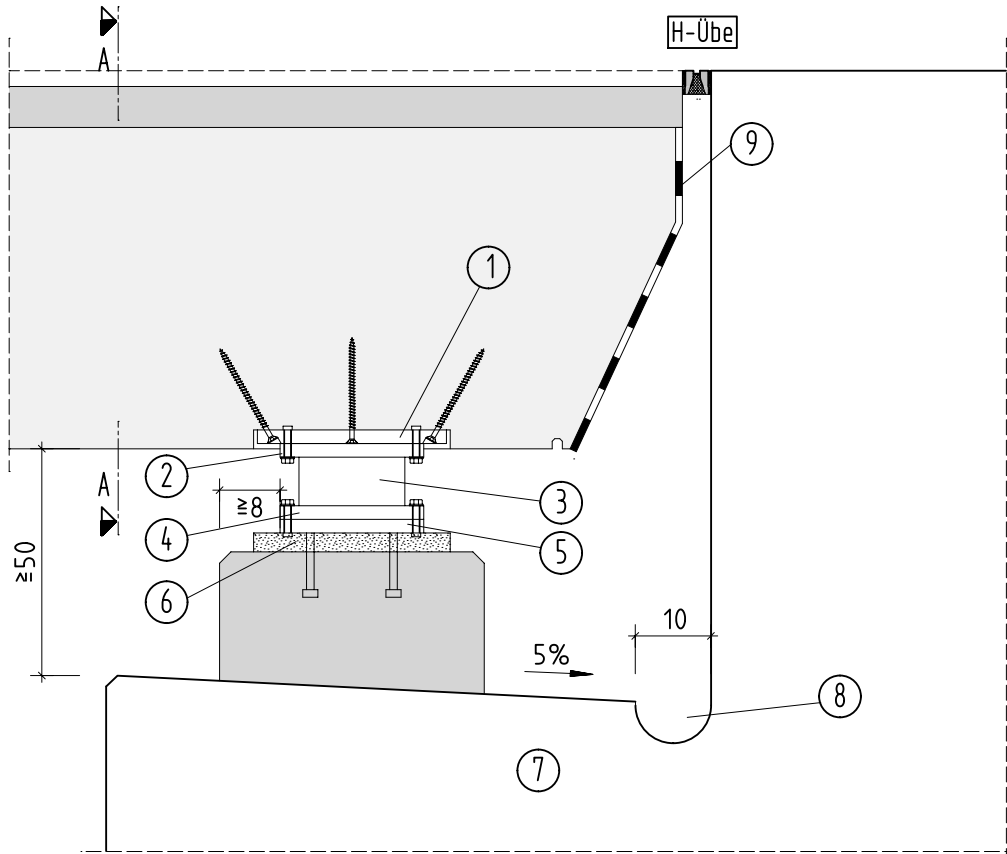
Musterzeichnung

**H-Kap 2**

10-20 18

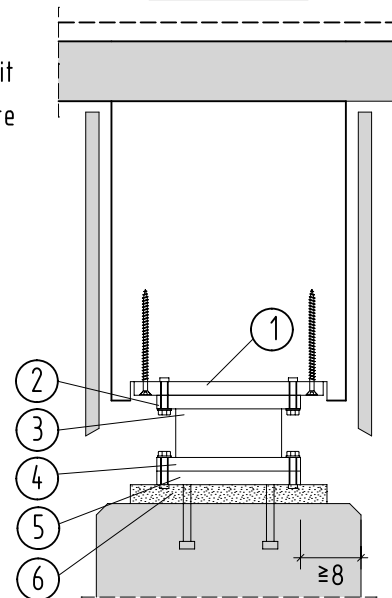
# Längsschnitt

1:10



Schnitt A-A

- ① obere Ankerplatte in Hauptträger eingelassen, mit Holzschrauben zur Aufnahme der Horizontalkräfte
- ② obere Lagerplatte
- ③ Elastomerlager nach **Lag 9** oder **Lag 10**
- ④ untere Lagerplatte
- ⑤ untere Ankerplatte
- ⑥ Mörtelfuge nach ZTV-ING 8-3
- ⑦ Auflagerbank und Abstände nach BDA-Brü, **Bösch 2** und **Lag 9**
- ⑧ Entwässerung der Auflagerbank nach **Was 5**
- ⑨ Hirnholzschutz durch Unterdeckbahn, oder diffusionsoffenen Anstrich



Variante geschlossener Überbau:

Neigung Auflagerbank zur Kammerwand analog **Was 5**

Variante offener Überbau:

Neigung Auflagerbank zur Luftseite analog **H-Lag 2**

ProTimB

Forschungsprojekt FH Erfurt

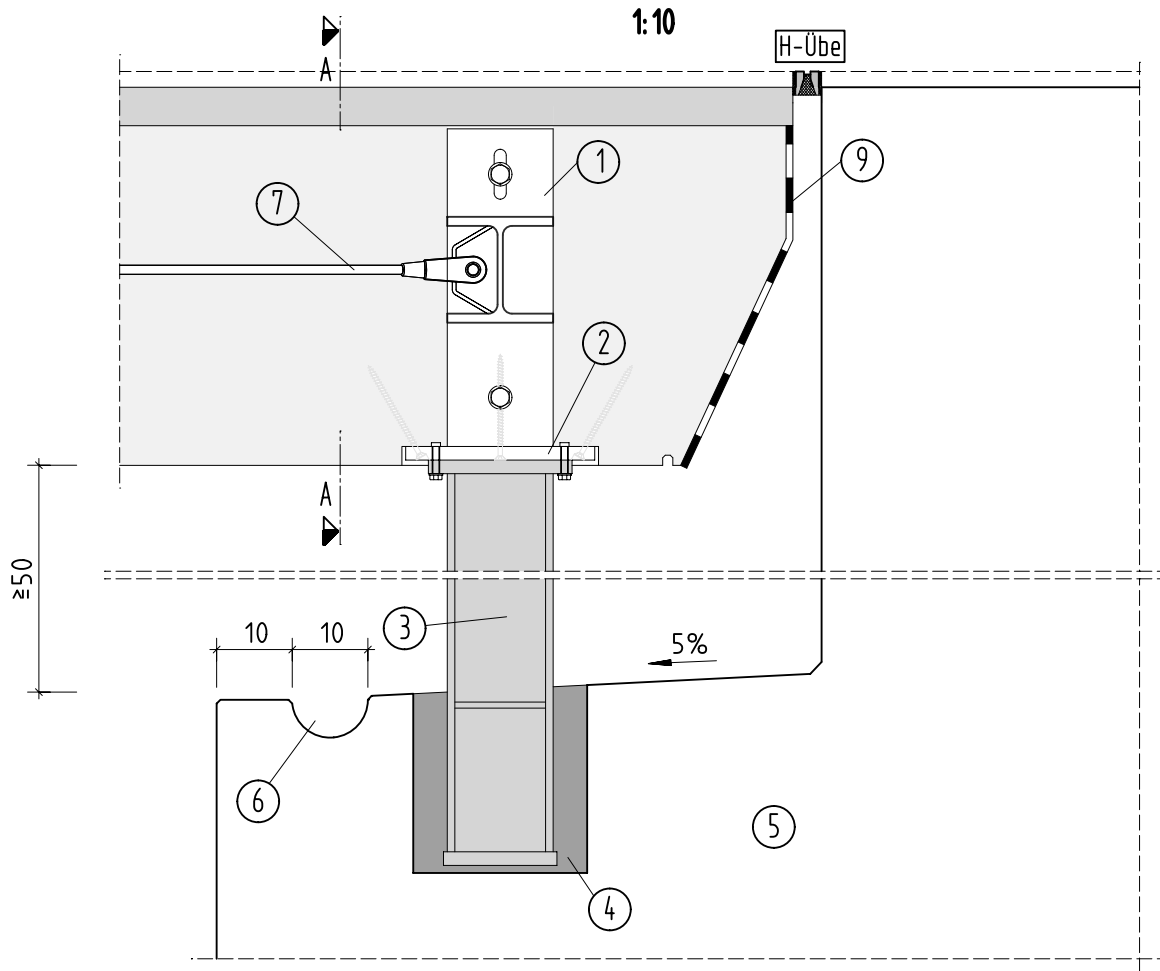
Elastomerlager

Musterzeichnung

H-Lag 1

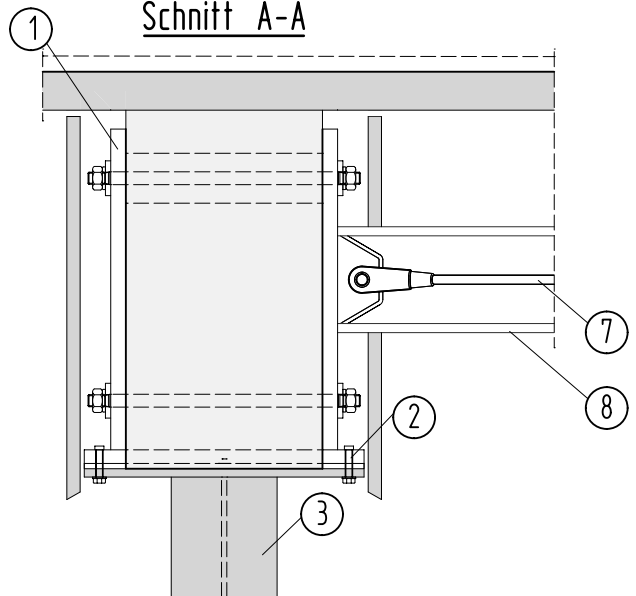
10-20 18

# Längsschnitt



- ① Flachstahl für Gabellagerung mit Langloch zum Ausgleich Quellen und Schwinden
- ② obere Ankerplatte in Hauptträger eingelassen
- ③ Festlager aus Walzprofil mit Aussteifung und Anschlussplatten nach Statik, in Auflagerbank eingegossen
- ④ Köcherfundament nach DIN EN 1992-1-1 10.9.6
- ⑤ Auflagerbank bei offenen Brückenbelägen nach vorn geneigt
- ⑥ Gerinne mit Längsneigung 2%, Ablaufrohr DN100
- ⑦ Anschluss Horizontalverband (nach Statik)
- ⑧ Endquerträger
- ⑨ Hirnholzschutz durch Unterdeckbahn, oder diffusionsoffenen Anstrich

## Schnitt A-A



Variante offener Überbau:

Neigung Auflagerbank zur Luftseite H-Lag 2

Variante geschlossener Überbau:

Neigung Auflagerbank zur Kammerwand analog Was 5 und H-Lag 1

ProTimB

Forschungsprojekt FH Erfurt

Festlager  
mit Stahlprofil  
und Gabellager

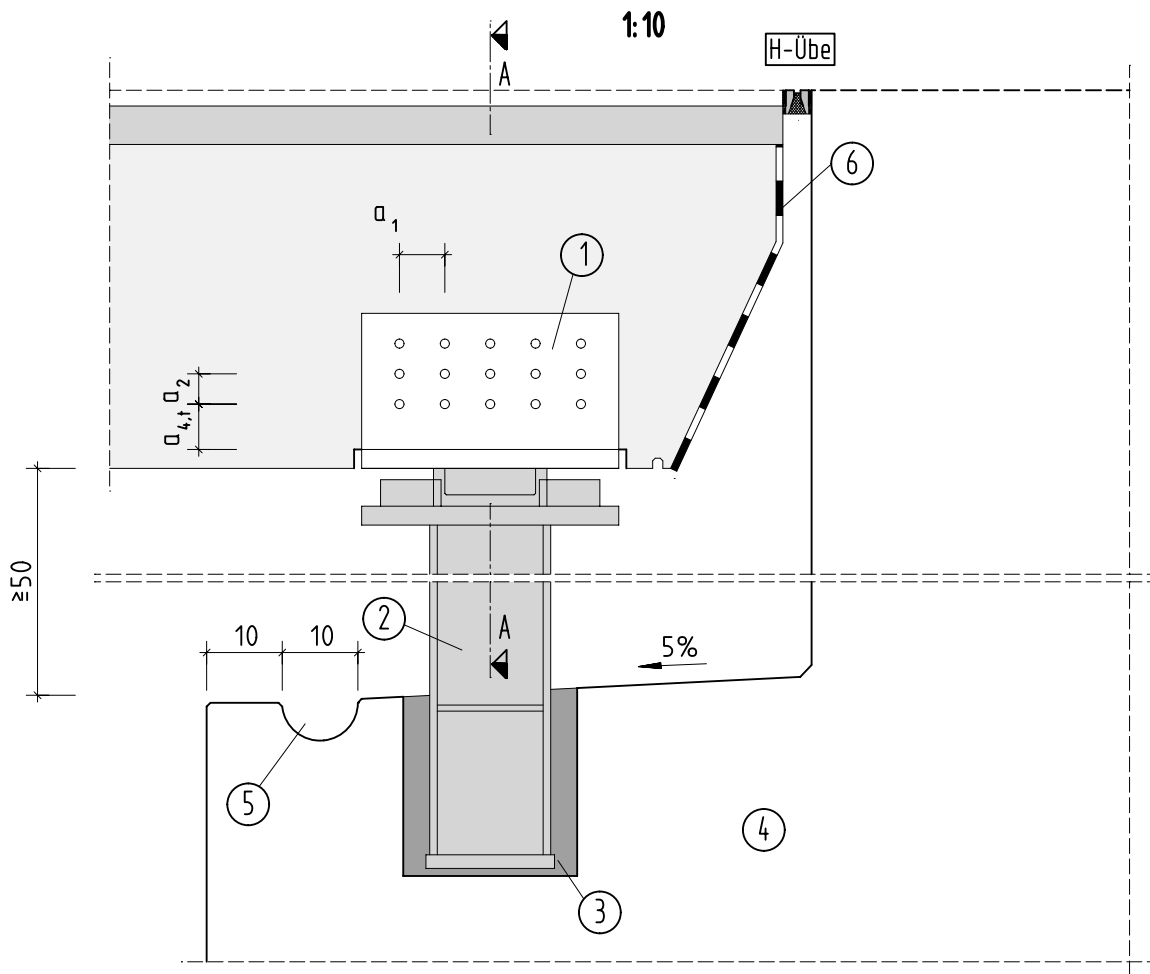
Musterzeichnung

H-Lag 2

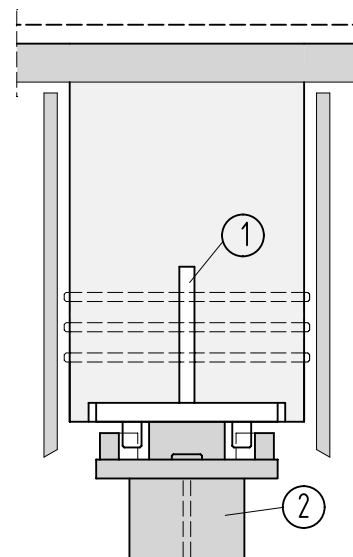
10-20 18



# Längsschnitt



## Schnitt A-A



- ① obere Ankerplatte in Überbau eingelassen, mit Schlitzblech und Stabdübeln
- ② Festlager aus Walzprofil mit Aussteifung und Anschlussplatten nach Statik, in Auflagerbank eingegossen
- ③ Köcherfundament nach DIN EN 1992-1-1 10.9.6
- ④ Auflagerbank bei offenen Brückenbelägen nach vorn geneigt
- ⑤ Gerinne mit Längsneigung 2 %, Ablaufrohr DN100
- ⑥ Hirnholzschutz durch Unterdeckbahn, oder diffusionsoffenen Anstrich

Variante offener Überbau:

Neigung Auflagerbank zur Luftseite

Variante geschlossener Überbau:

Neigung Auflagerbank zur Kammerwand analog **Was 5** und **H-Lag 1**

ProTimB

Forschungsprojekt FH Erfurt

Festlager  
mit Schlitzblech

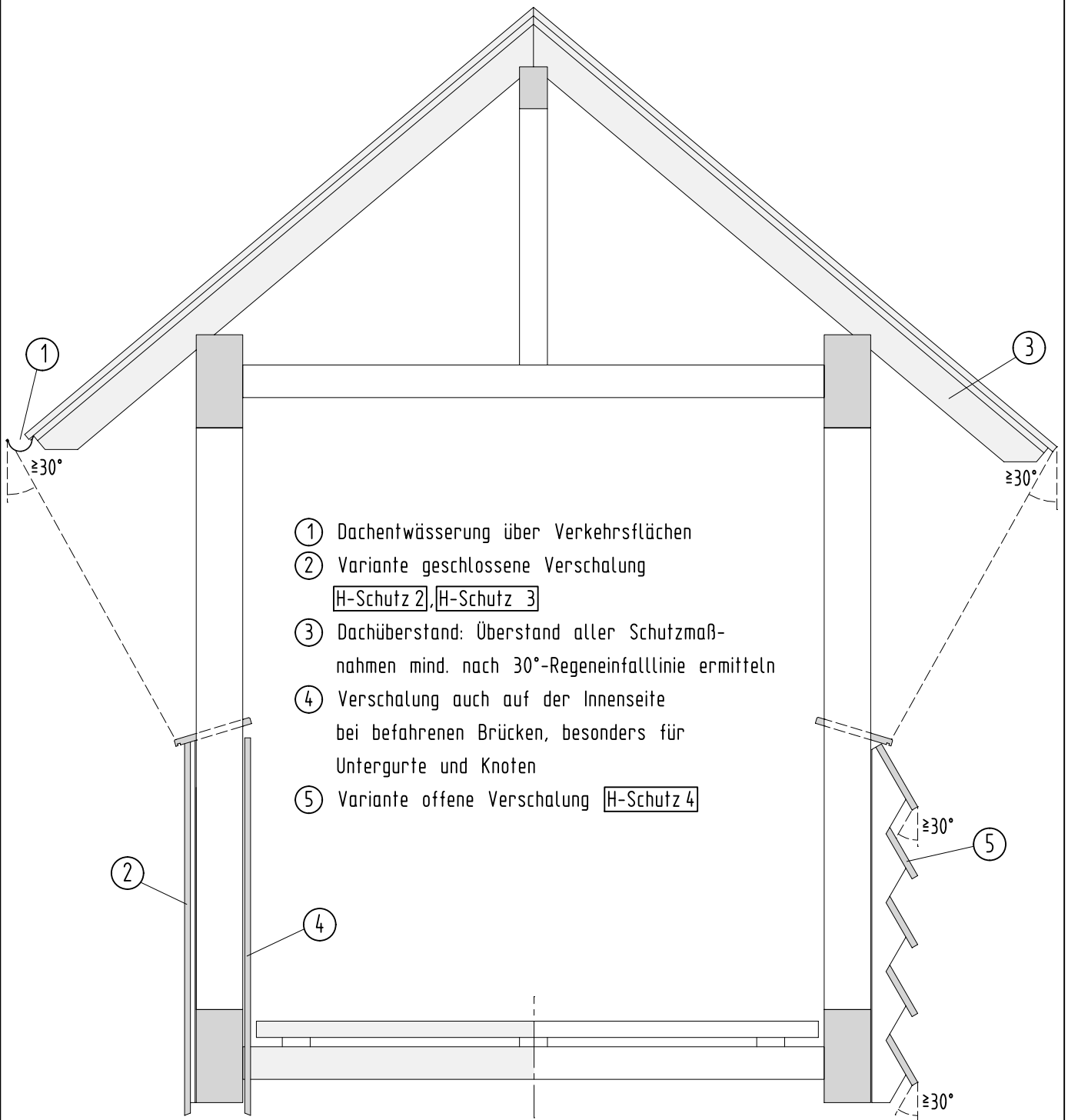
Musterzeichnung

H-Lag 3

10-20 18

# Querschnitt

1:25



ProTimB

Forschungsprojekt FH Erfurt

Schutzdach  
und Verschalung

Wartungsbauteil

Musterzeichnung

H-Schutz 1

10-20 18

# Schnitt

1:10

## Senkrechte Verschalung

Boden-Deckel-Verschalung



Deckleistenverschalung



Verschalung aus  
gespundeten Brettern

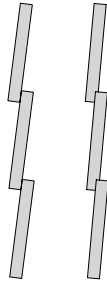


Plattenwerkstoffe

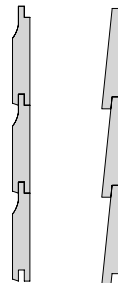


## Waagerechte Verschalung

Stülpchalungsbretter  
einfache Stülpung  
bzw. mit Falz



Stülpchalungsbretter  
konisch mit Nut u. Feder  
bzw. mit Falz



Verschalung mit Rhombusteilen  
und Fassadenbahn als Insekten-  
schutz



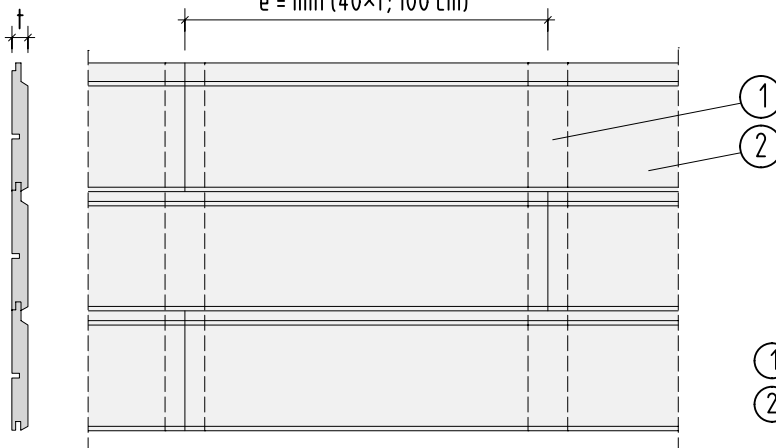
Profilbrettverschalung (für senkrechte, waagerechte oder diagonale Anordnung)



## Ansicht

1:10

$e = \min(40 \times t; 100 \text{ cm})$



- ① Traglatten
- ② Verschalung

ProTimB

Forschungsprojekt FH Erfurt

Ausführungsvarianten  
Verschalung

Musterzeichnung

H-Schutz 2

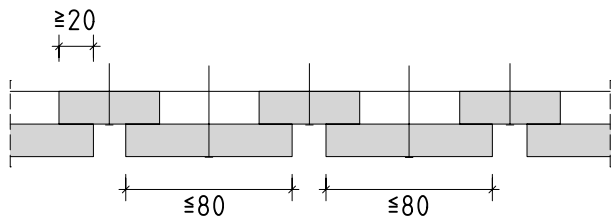
Wartungsbauteil

10-20 18

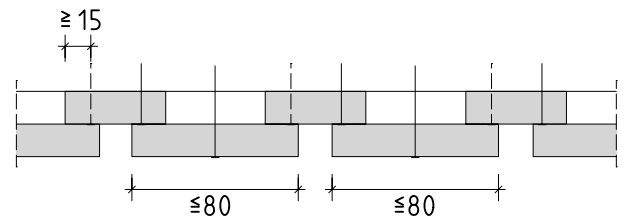
# Befestigung vertikale Verschalung aus Vollholz

1:10

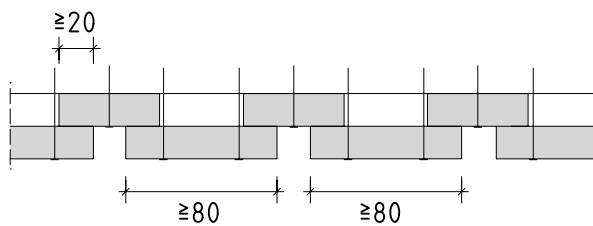
Befestigung bei Brettbreiten  $\leq 80$  mm



Verdeckte Leistenbefestigung in Längsrichtung versetzt



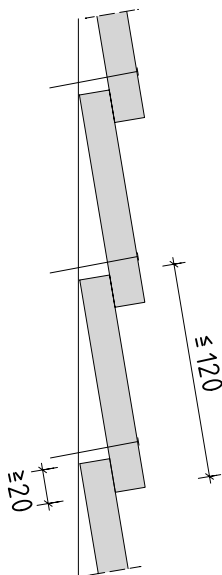
Befestigung bei Brettbreiten  $\geq 80$  mm



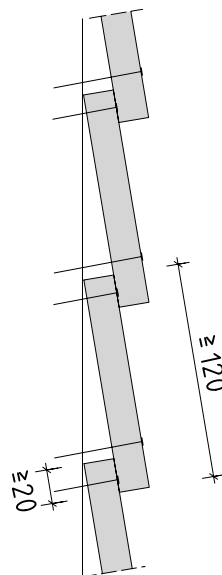
# Befestigung horizontale Verschalung aus Vollholz

1:10

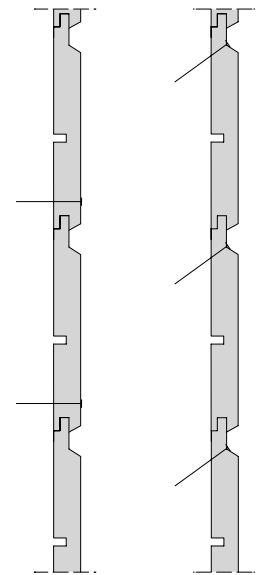
Befestigung bei Brettbreiten  $\leq 120$  mm



Befestigung bei Brettbreiten  $\geq 120$  mm



Befestigung Profilschalung



ProTimB  
Forschungsprojekt FH Erfurt

Befestigung geschlossene  
Verschalung

Wartungsbauteil

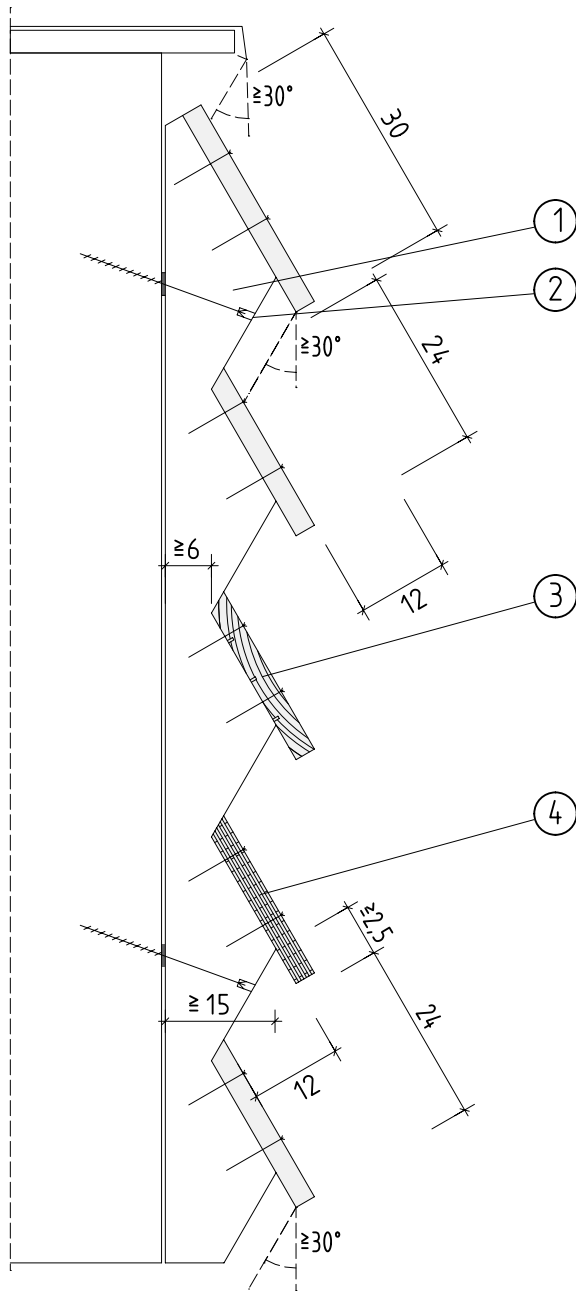
Musterzeichnung

H-Schutz 3

10-20 18

# Querschnitt

1:10



- ① Zahnbohle als Träger für Holzverschalung, segmentweise montiert,
- ② Teilgewindeschraube (z.B. 8×200 mm), ca. 30° Neigung zur Faserrichtung Hauptträger, Sackbohrung ggf. gedeckelt, Distanzscheibe Kunststoff
- ③ Verschalungsbretter aus Vollholz (z.B. Lärche Kernholz)
- ④ Verschalung aus Holzwerkstoffen (z.B. Furnierschichtholz (LVL))

**Vollhölzer:** Holzart mit hoher natürlicher Dauerhaftigkeit (z.B. Kern von Lärche, Douglasie, Eiche)

**Holzwerkstoffe:** aus Furnieren (z.B. LVL), Verklebung witterungsbeständig (Klebstofftyp I, DIN EN 301 oder D4, DIN EN 204)

**Befestigungsmittel:** Metallteile korrosionsbeständig

**Abstände:** Verschalelemente  $\geq 12$  cm für Revision

Überstand der Schutzmaßnahmen an jeder Stelle mindestens nach 30°-Falllinie

ProTimB

Forschungsprojekt FH Erfurt

Befestigung offene  
Verschalung

Musterzeichnung

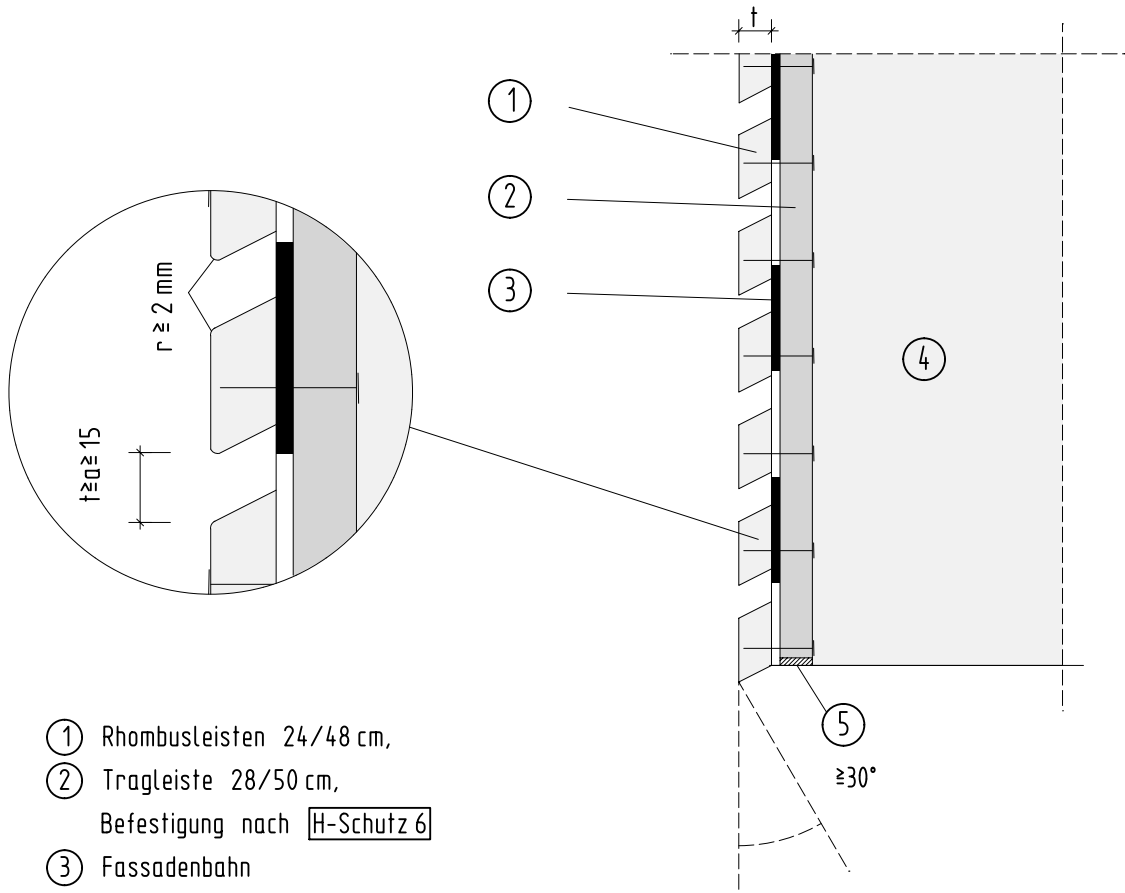
H-Schutz 4

Wartungsbauteil

10-20 18

# Querschnitt

1:5



- ① Rhombusleisten 24/48 cm,
- ② Tragleiste 28/50 cm,  
Befestigung nach H-Schutz 6
- ③ Fassadenbahn  
diffusionsoffen (sd- Wert  $\leq 0.50$  m)
- ④ Hauptträger
- ⑤ Lüftungöffnung mit  
Insektenschutzgitter

- Rhombusleisten und Tragbohlen: aus Vollholz mit hoher natürlicher Dauerhaftigkeit (z.B. Lärche Kernholz)
- Befestigung mit korrosionsbeständigen Teilgewindeschrauben
- Fassadenbahn: Einflugschutz Insekten, Flugschnee, Schmutz ect.

ProTimB  
Forschungsprojekt FH Erfurt

Verschalung  
mit Rhombusleisten

Musterzeichnung

H-Schutz 5

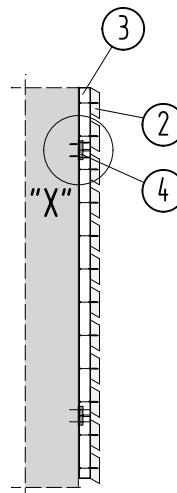
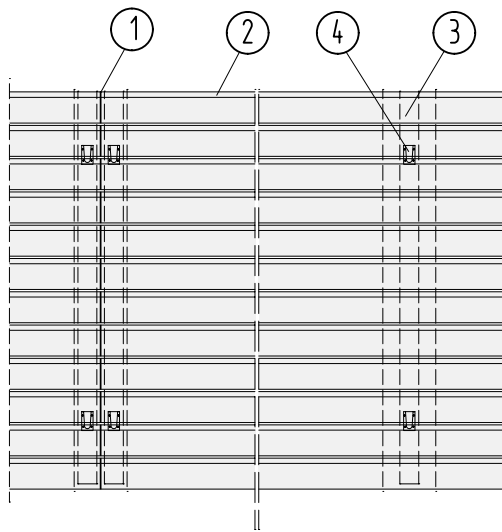
Wartungsbauteil

10-20 18

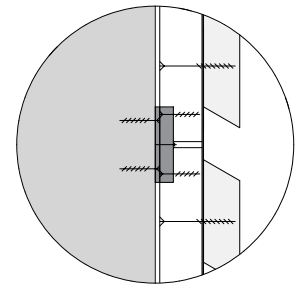
# Varianten der Befestigung

1:10

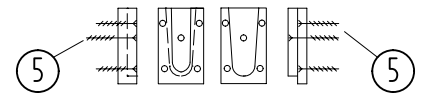
## Variante 1: mit Eihängverbinder



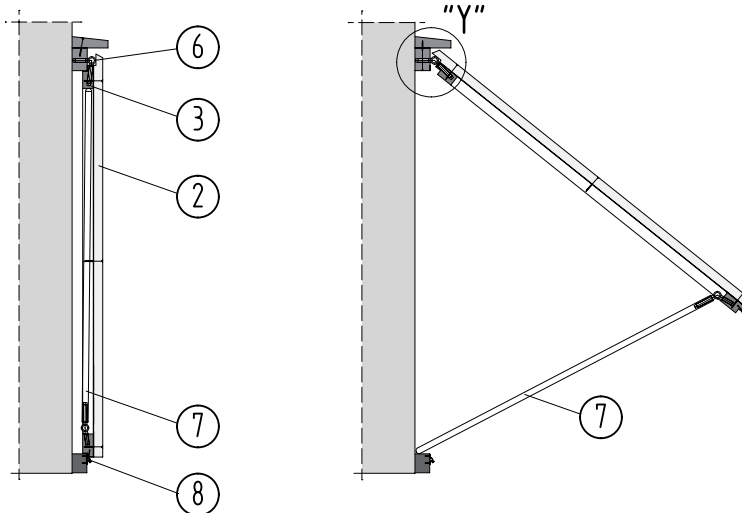
### Detail "X" 1:5



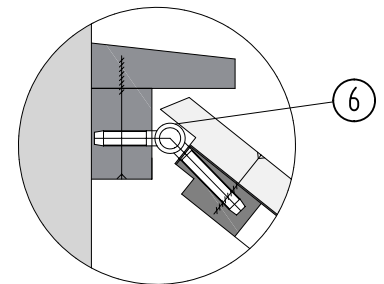
Ansichten  
Schwalbenschwanzverbinder  
mit Sicherungsschraube



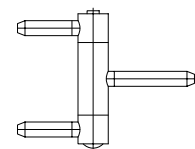
## Variante 2: Klappmechanismus



### Detail "Y" 1:5



Draufsicht  
Einbohrband



- ① Segmentstoß
- ② Verschalung
- ③ Tragbohle bzw. Rahmenkonstruktion für Verschalung mit Insektenschutz
- ④ Eihängverbinder (z.B. Schwalbenschwanzverbinder)
- ⑤ Sicherungsschraube
- ⑥ Scharnier mit gesichertem Splint (z.B. Einbohrband, 3-teilig)
- ⑦ Stützstab mit Gelenk
- ⑧ Sicherung (z.B. Schieberiegel auf Brückenaußenseite oder Dreikant-Schloss auf Brückeninnenseite)

### Befestigungssystem:

- für leichte, segmentweise Abnahme zur Revision der Hauptkonstruktion  $m \leq 20 \text{ kg}$
- Befestigung mit Eihängverbinder, Schwalbenschwanzverbinder, verdeckten Verbindern mit Sicherungsschraube
- ggf. Griffe vorsehen

ProTimB

Forschungsprojekt FH Erfurt

Befestigung der  
Verschalung für Revision

Musterzeichnung

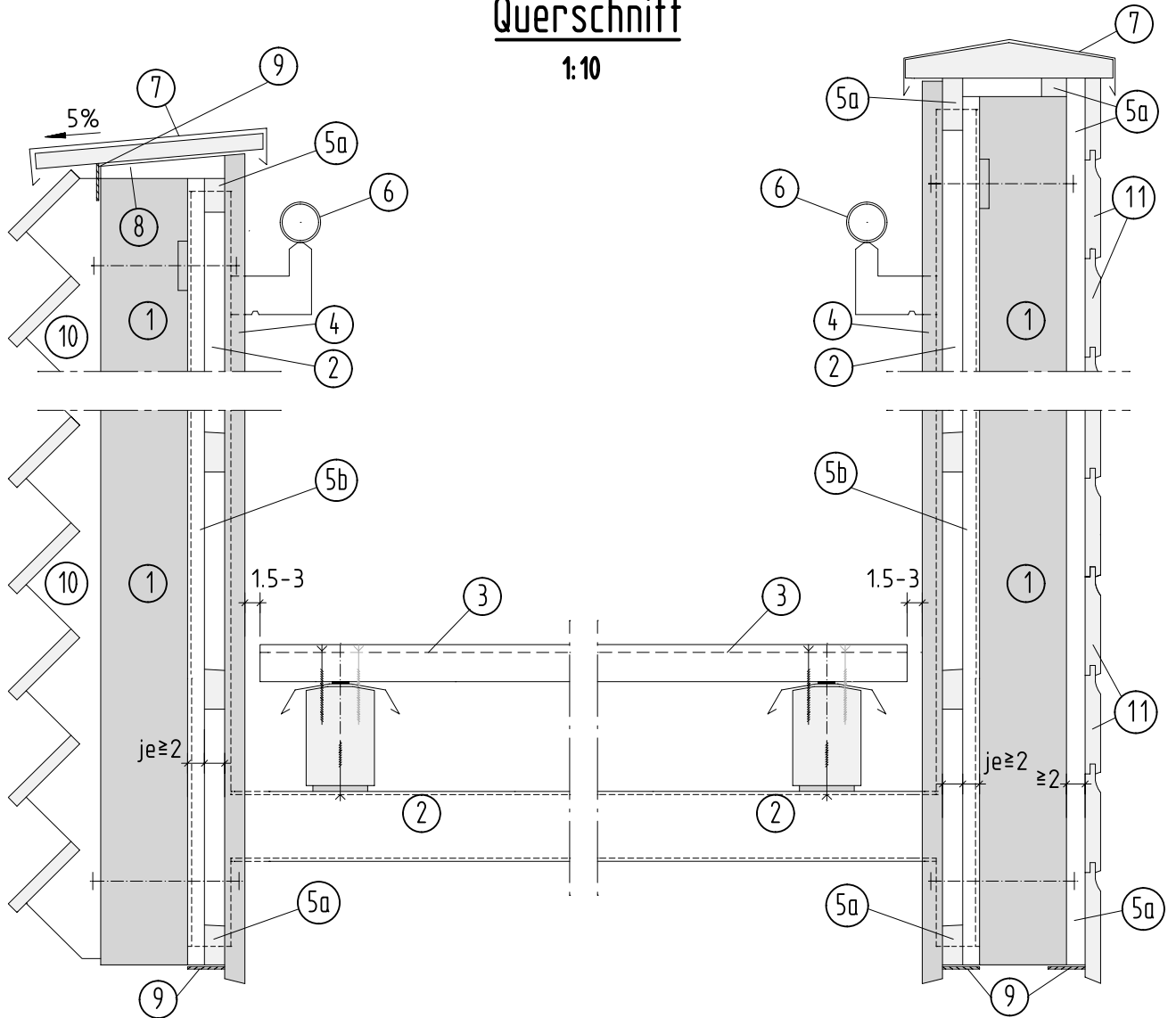
H-Schutz 6

Wartungsbauteil

10-20 18

# Querschnitt

1:10



- ① Hauptträger
- ② Querrahmen
- ③ offener Belag
- ④ seitliche Verschalung innen; Variante vertikale geschlossene Verschalung nach H-Schutz 2
- ⑤a Traglattung
- ⑤b Grundlattung inkl. Hinterlüftung
- ⑥ Handlauf
- ⑦ Blechabdeckung auf Trenn- und Dichtlage auf Schal Brett mit Gefälle  $\geq 5\%$
- ⑧ Keilholz, Abstand ca. 50 cm, auf Hinterlüftung achten
- ⑨ Insektenschutz vor Hinterlüftungsebene
- ⑩ seitliche Verschalung außen; Variante offene Verschalung nach H-Schutz 4
- ⑪ seitliche Verschalung außen; Variante horizontale geschlossene Verschalung siehe H-Schutz 2, H-Schutz 3

ProTimB  
Forschungsprojekt FH Erfurt

Varianten Verschalung  
Trogträger

Wartungsbauteil

Musterzeichnung

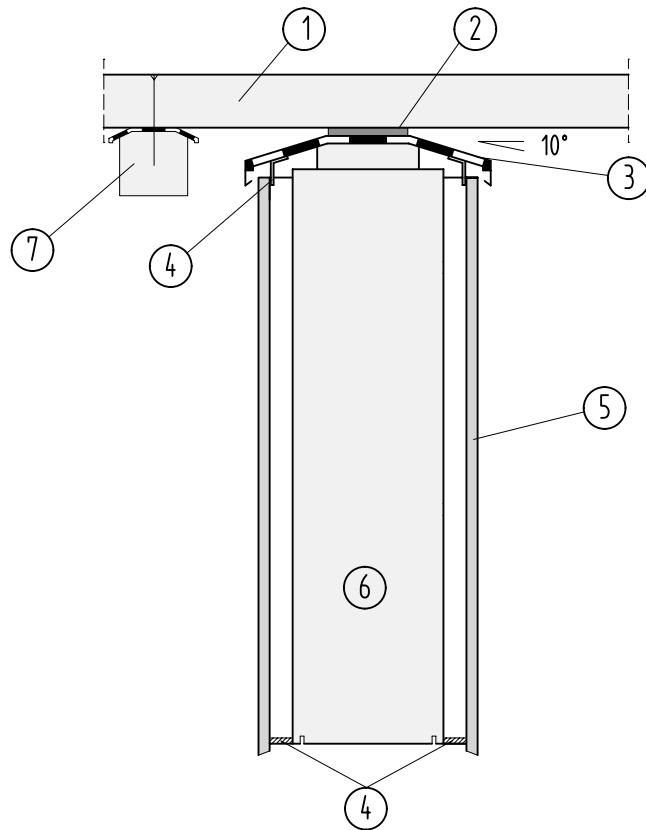
**H-Schutz 7**

10-20 18



# Querschnitt

1:10



- ① Bohlenbelag auf Lagerhölzern (Wartungsbauteil)
- ② Schutzlage, Elastomerband
- ③ Blech auf Trennlage, gekantet mit Tropfkante, keine Durchdringung mit Verbindungsmitteln!
- ④ Insektenschutz
- ⑤ Verschalung abnehmbar/klappbar
- ⑥ Hauptträger
- ⑦ Belagträger (Wartungsbauteil) zur Befestigung Belag

Anwendungsbereich: offene, nicht überdachte Holzbrücken

ProTimB  
Forschungsprojekt FH Erfurt

Schutz Längsträger  
unter Bohlenbelägen

Musterzeichnung

H-Schutz 8

Wartungsbauteil

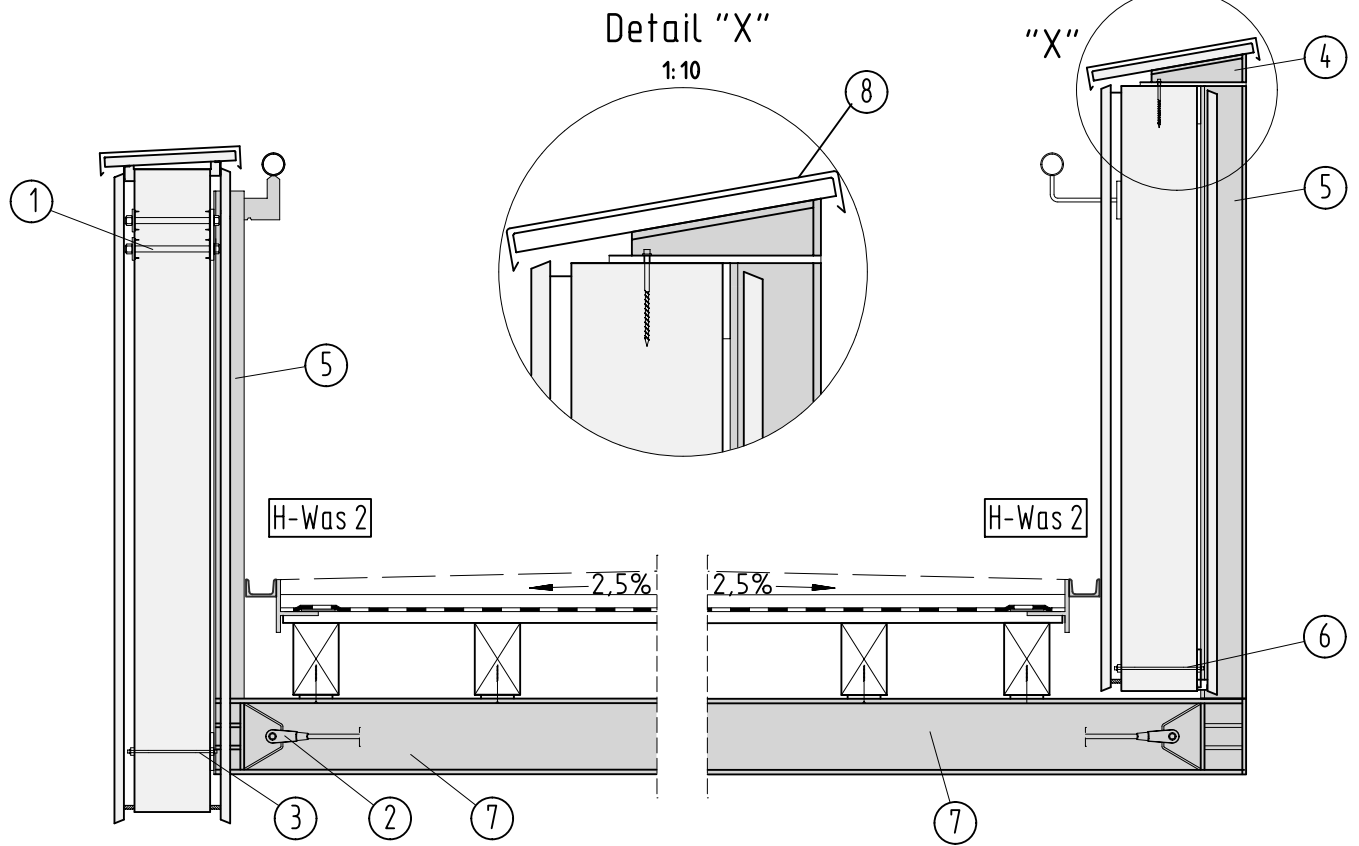
10-20 18

# Querschnitt

1:20

Variante  
Rahmen innenliegend

Variante  
Rahmen außenliegend



- ① Anschluss Querrahmen am Hauptträger im oberen Bereich (Reduzierung Querzug im Träger) mit Dübeln besonderer Bauart und Passbolzen im engen Anschlussbild zur Minimierung des Querzuges aus Quellen und Schwinden
- ② Anschluss Horizontalverband
- ③ Sicherungsbolzen zur Torsionsstabilisierung, Anschlussfahne oder Stirnplatte mit vertikalem Langloch
- ④ Rahmen auf Hauptträger oberseitig aufgelegt zur Vermeidung von Querzug  
Auflagerfläche mit Lastverteilungsblech und Sicherungsschraube nach Statik
- ⑤ Vertikalträger
- ⑥ Sicherungsbolzen zur Torsionsstabilisierung, Anschlussfahne mit vertikalem Langloch
- ⑦ Rahmenriegel
- ⑧ Blechabdeckung

ProTimB  
Forschungsprojekt FH Erfurt

Anschluss  
Querrahmen  
bei Trogbriicken

Musterzeichnung

H-Trog 1

10-20 18

# Querschnitt

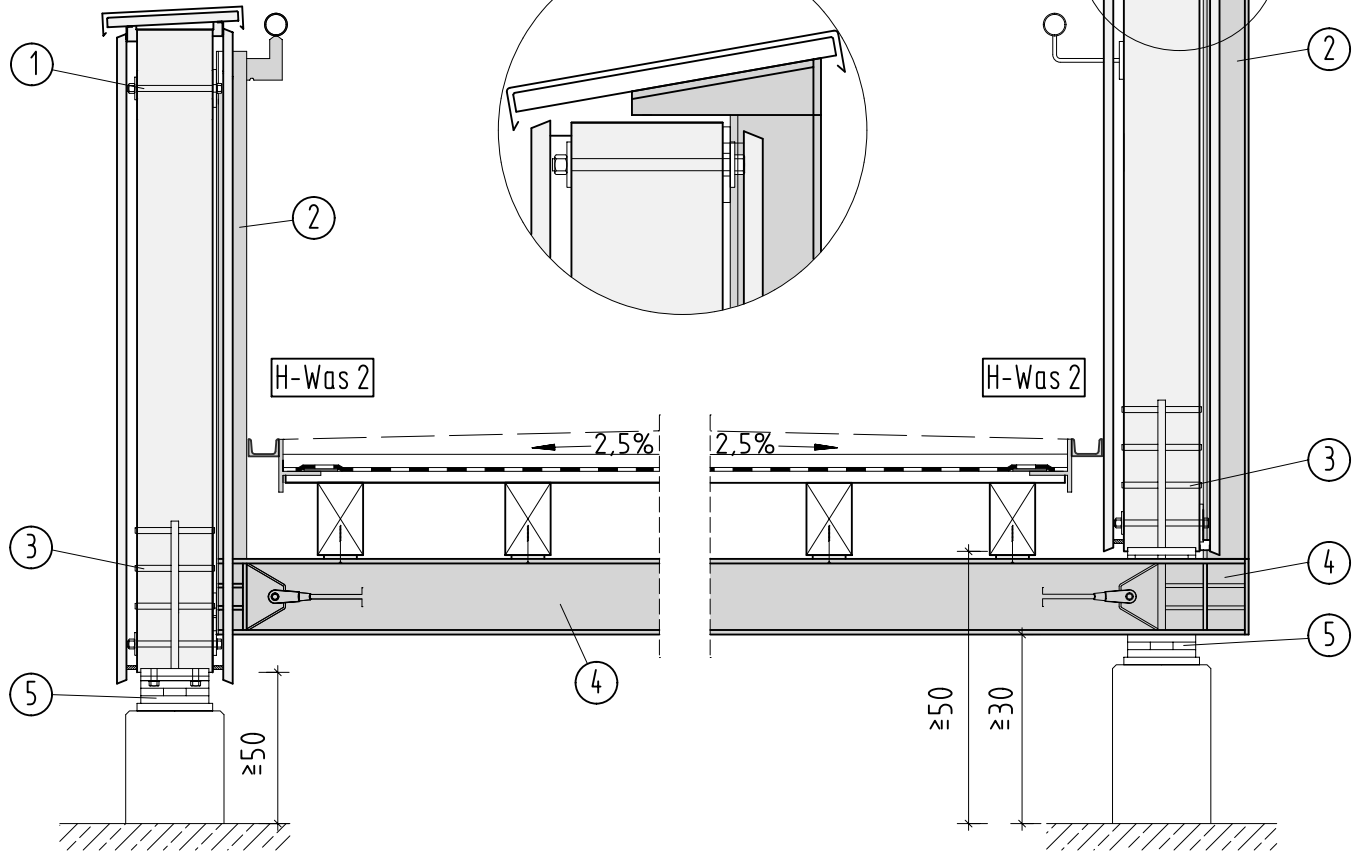
1:20

Variante  
Rahmen innenliegend

Variante  
Rahmen außenliegend

Detail "X"

1:10



- ① Rahmen oben am Hauptträger seitlich mit Bolzen über Anschlussblech mit vertikalem Langloch zur Herstellung der Gabellagerung angeschlossen,
- ② Vertikalträger
- ③ Anschluss Hauptträger am Auflager per Schlitzblech mit geringer Bauhöhe über Stabdübel/Passbolzen, Auflagerplatte eingelassen
- ④ Endquerträger
- ⑤ Lager
- ⑥ Rahmen oben am Hauptträger seitlich mit Bolzen über Anschlussblech mit vertikalem Langloch zur Herstellung der Gabellagerung angeschlossen, vertikaler Abstand zur Vermeidung von Zwängung aus Quellen/ Schwinden

ProTimB  
Forschungsprojekt FH Erfurt

Anschluss  
Endquerrahmen  
bei Trogbriicken

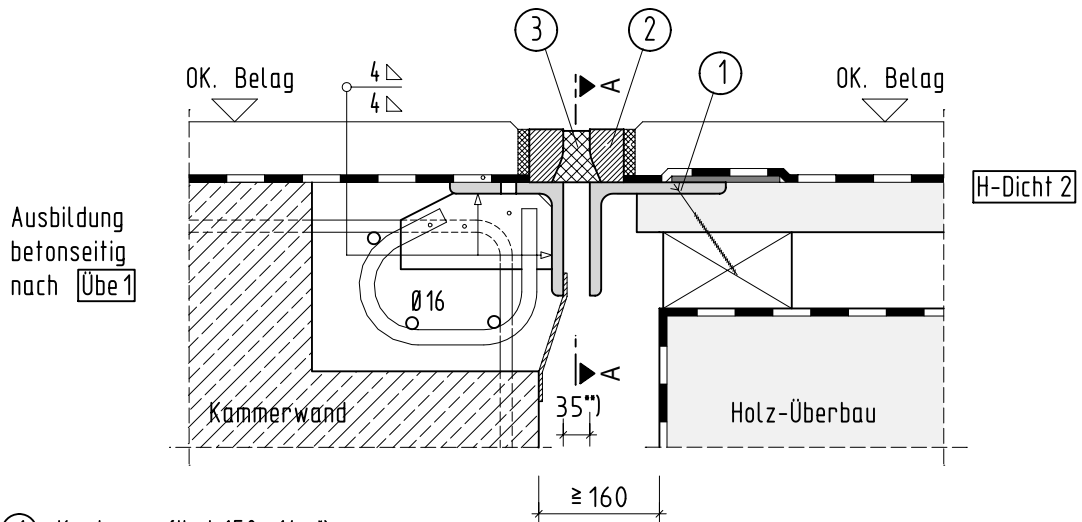
Musterzeichnung

H-Trog 2

10-20 18

# Längsschnitt

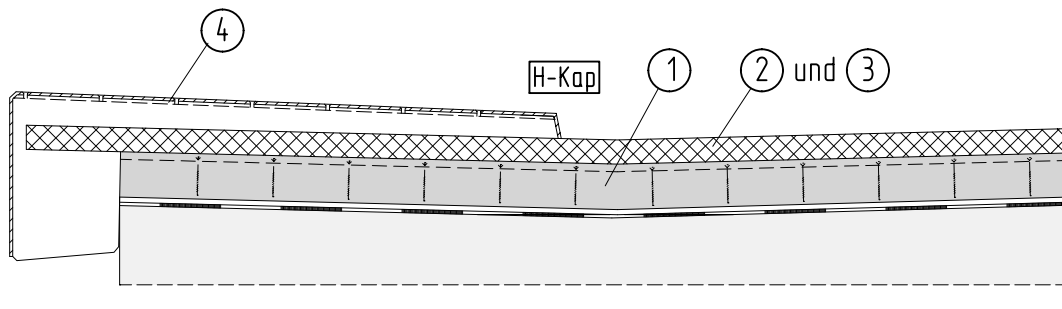
1:10



- ① Kantenprofil L 150×14 \*)
  - ② Randprofil
  - ③ Dichtprofil
  - ④ Trittsicheres Abdeckblech aus nicht rostendem Stahl gem. ZTV-ING 8-1, d > 10 mm nach Übe 1
- \*) Rand- und Kantenprofil auch aus einem Stück  
 \*\*) bei minimaler Fugenspaltenbreite

# Schnitt A-A

1:25



Die Übergangskonstruktionen sind nach RiZ-Ing auszuführen. Zu beachten sind die ggf. größeren Bewegungsbereiche auch in vertikaler Richtung.

**Anwendung und Ausführung:** Nach ZTV-ING 8-1 (hier Bsp. mit Abdeckblech)  
**Übergang:** Aus Unterkonstruktion und wasserdichter Oberkonstruktion. Die Oberkonstruktion ist nur schematisch dargestellt.  
**Verankerungsbeton:** mindestens C30/37 nach ZTV-ING 3-1.  
**Anschlussbewehrung:** Betonstabstahl B500B  
**Unterkonstruktion:** mindestens S235 J2(+N) einschl. der Ankerschlaufen  
**Korrosionsschutz:** 1GB EP-Zinkstaub, 3 ZB EP, 1 DP EP nach ZTV-ING 4-3

**ProTimB**  
 Forschungsprojekt FH Erfurt

Unterkonstruktion  
 für wasserdichten  
 Übergang mit  
 einem Dichtprofil

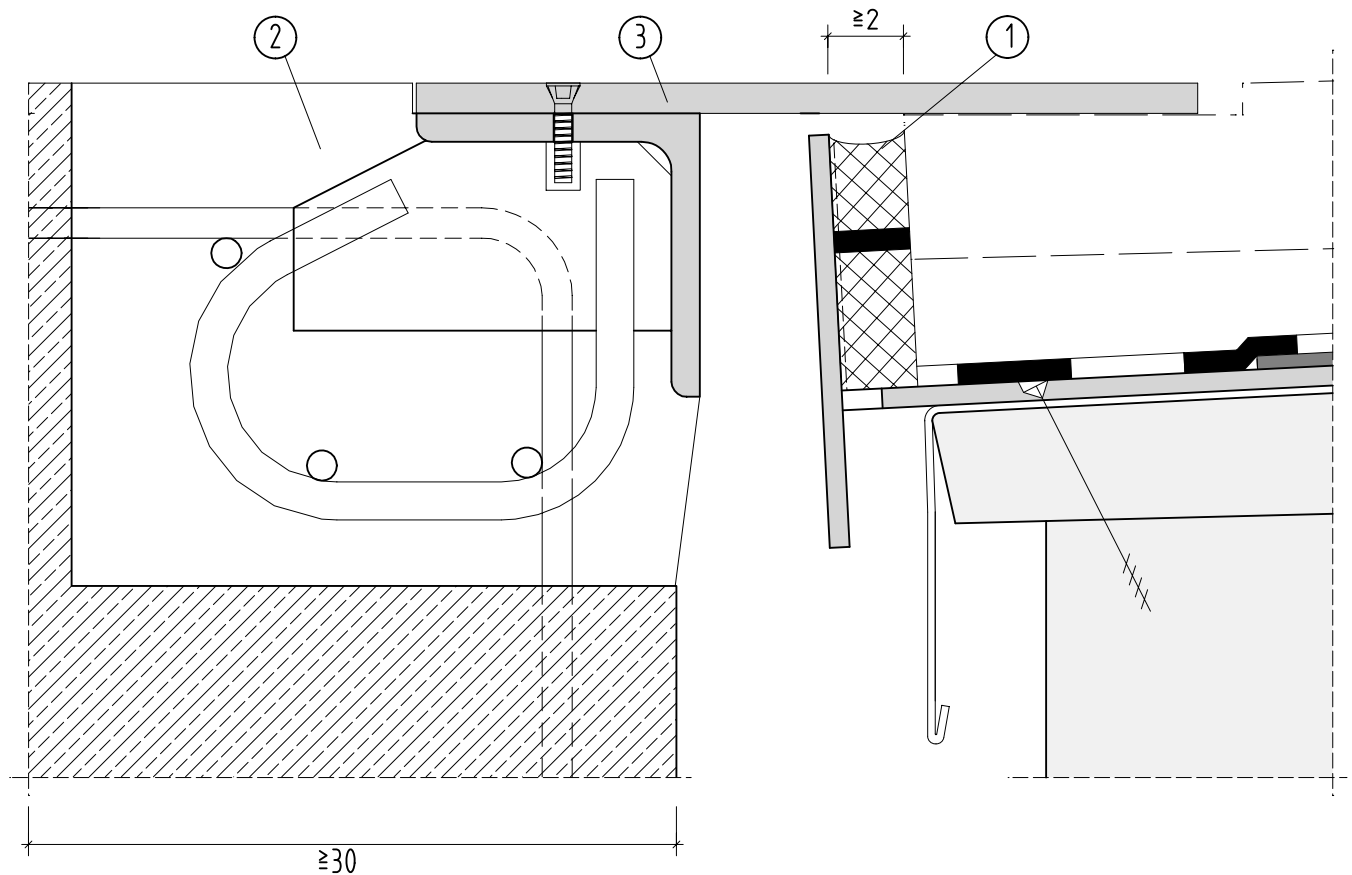
Musterzeichnung

H-Übe 1

10-20 18

# Längsschnitt

1:2



- ① Randabschluss Überbau nach **H-Dicht 2**
- ② Abschluss Widerlager nach **Übe 1** mit Kantenprofil
- ③ Schleppblech 8×200 mm korrosionsbeständiges Metall (Edelstahl oder Aluminium), rutschhemmende Oberfläche (Riffelblech oder Beschichtung), Befestigung mit M8 Senkkopf mit Inbus

ProTimB  
Forschungsprojekt FH Erfurt

Übergang  
mit Schleppblech

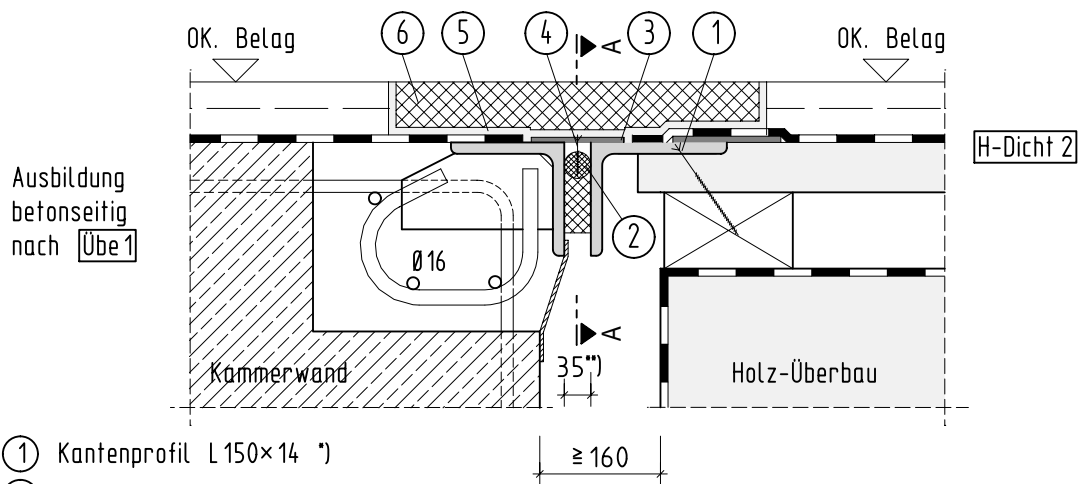
Musterzeichnung

**H-Übe 2**

10-20 18

# Längsschnitt

1:10



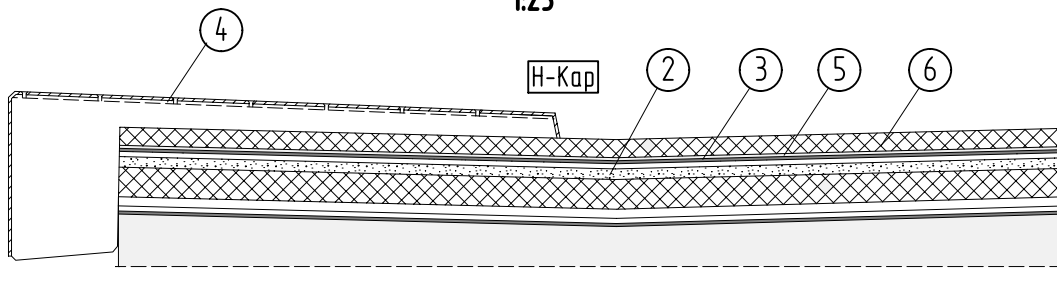
- ① Kantenprofil L 150×14 \*)
- ② Unterfüllung
- ③ Abdeckstreifen
- ④ Fixierung
- ⑤ Muldenauskleidung
- ⑥ Muldenfüllung, lagenweise mit dehnungsverteilenden Einlagen hergestellt, dehn- und stauchbarer, befahrbarer Asphaltkörper
- ⑦ Trittsicheres Abdeckblech aus nicht rostendem Stahl gem. ZTV-ING 8-1,  $d > 10$  mm nach Übe 1

\*) Rand- und Kantenprofil auch aus einem Stück

\*\*) bei minimaler Fugenspaltenbreite

# Schnitt A-A

1:25



Die Übergangskonstruktionen sind nach RiZ-Ing auszuführen. Zu beachten sind die ggf. größeren Bewegungsbereiche auch in vertikaler Richtung.

**Anwendung und Ausführung:** Nach ZTV-ING 8-2 (hier Bsp. mit Abdeckblech)

**Übergang:** Aus Unterkonstruktion und wasserdichter Oberkonstruktion. Die Oberkonstruktion ist nur schematisch dargestellt.

**Verankerungsbeton:** mindestens C30/37 nach ZTV-ING 3-1.

**Anschlussbewehrung:** Betonstabstahl B500B

**Unterkonstruktion:** mindestens S235 J2(+N) einschl. der Ankerschlaufen

**Korrosionsschutz:** 1GB EP-Zinkstaub, 3 ZB EP, 1 DP EP nach ZTV-ING 4-3

ProTimB

Forschungsprojekt FH Erfurt

Unterkonstruktion  
für wasserdichten  
Übergang aus  
Asphalt

Musterzeichnung

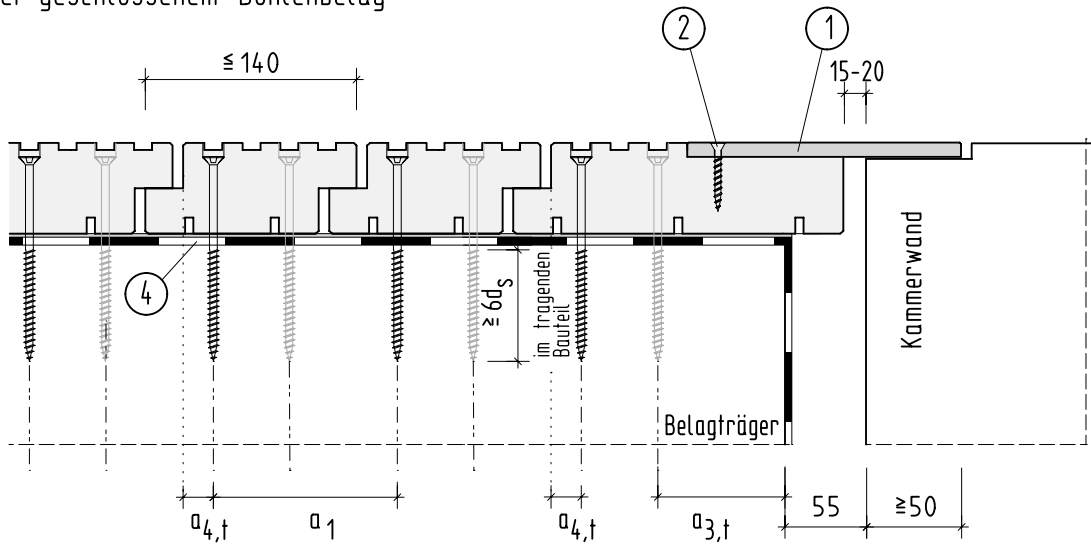
H-Übe 3

10-20 18

# Längsschnitt

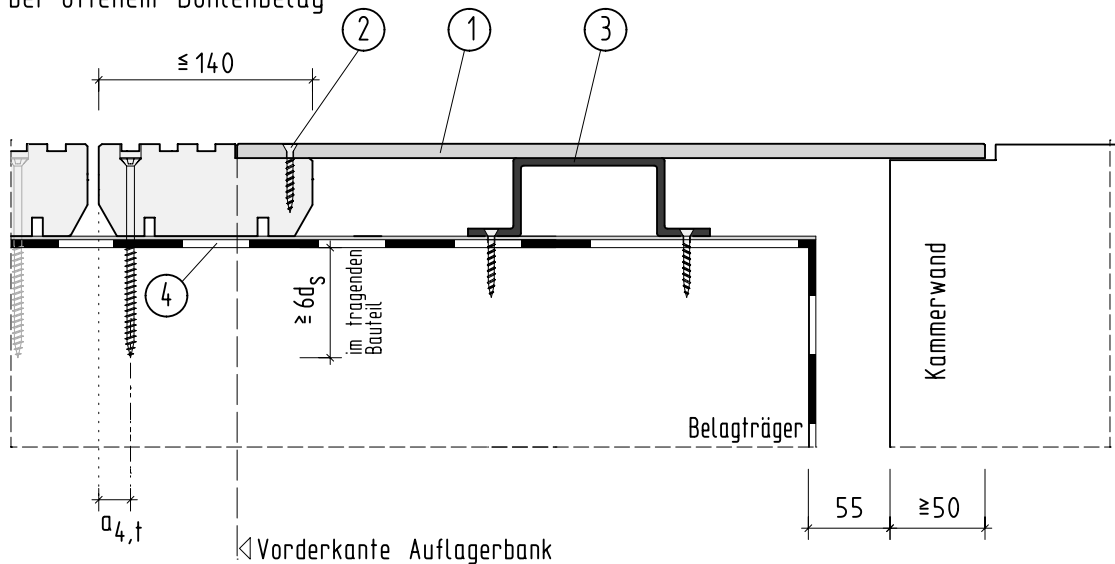
1:5

bei geschlossenem Bohlenbelag



- ① Schleppblech aus korrosionsbeständigem Material, rutschhemmende Oberfläche
- ② Holzschraube mit Senkkopf und Inbus
- ③ Unterstützung Schleppblech aus korrosionsbeständigem Metall oder Kunststoff
- ④ Kunststoffdachbahn oder Blechabdeckung mit Dichtband

bei offenem Bohlenbelag



## Anwendung

- geschlossener Bohlenbelag als Schutz unterführter Straßen und der Auflagerbereiche gegen Schmutz, Splitt und Schnee

- Schleppblech im Bereich des Übergangs zum Schutz der Auflagerbänke gegen Schmutz, Splitt, Schnee auch bei gedeckten Brücken

- Maßangaben (mm)

ProTimB

Forschungsprojekt FH Erfurt

Überbauabschluss  
bei Bohlenbelag

Musterzeichnung

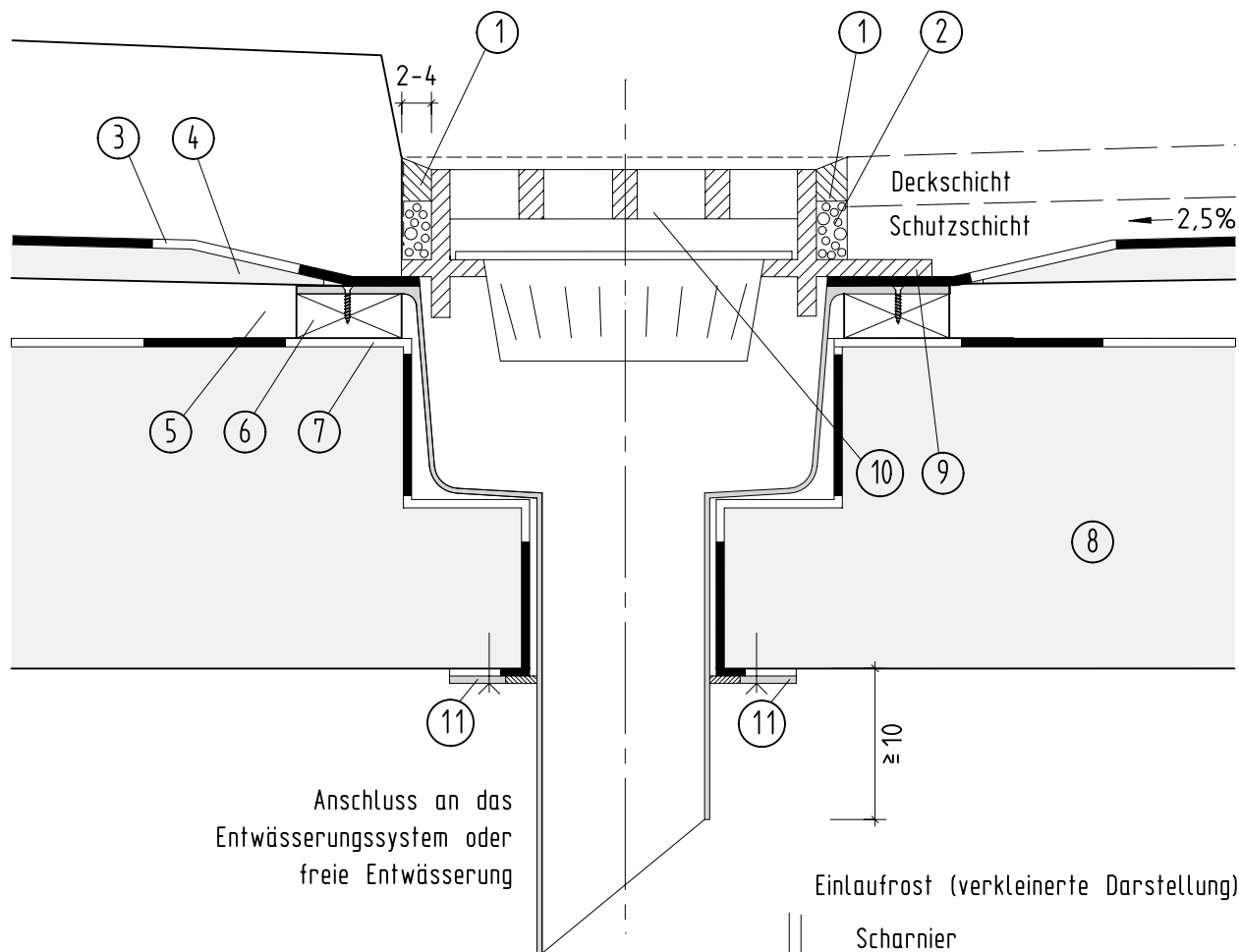
H-Übe 4

Wartungsbauteil

10-20 18

# Querschnitt

1:5



- ① Fugenverguss
- ② Sickerschicht aus kunstharzgebundenem Einkornbeton 8/16
- ③ Dichtungsschicht nach **H-Dicht 1**
- ④ Tragschicht aus Holzwerkstoffplatte  $d \geq 24$  mm
- ⑤ Lagerholz mit geneigter Oberseite  $\geq 2,5\%$
- ⑥ Lagerhölzer als Rahmen für Bodeneinlauf-Unterteil
- ⑦ Diffusionsoffene Unterdeckbahn
- ⑧ Hauptträger
- ⑨ Pressdichtungsflansch mit  $b \geq 70$  mm, Klebeflansch mit  $b \geq 100$  mm, gem. DIN EN 1253
- ⑩ Bodenablauf auf Entwässerungsrohr mit Schlammeimer aus Stahl verzinkt **Was 1**
- ⑪ Befestigungsflansch mit Insektenschutz

**Einbauvorgang:** Siehe **Was 1**, Einbauhinweise des Herstellers sind zu beachten. Einlaufoberteil auf planmäßige Höhe (10 mm unter OK Belag) versetzen. Die vollflächige Auflage des Oberteils ist sicherzustellen.

Bei freier Entwässerung auf Abtropfkanten und Abstände zur Konstruktion achten.

**ProTimB**

Forschungsprojekt FH Erfurt

Brückenablauf

Musterzeichnung

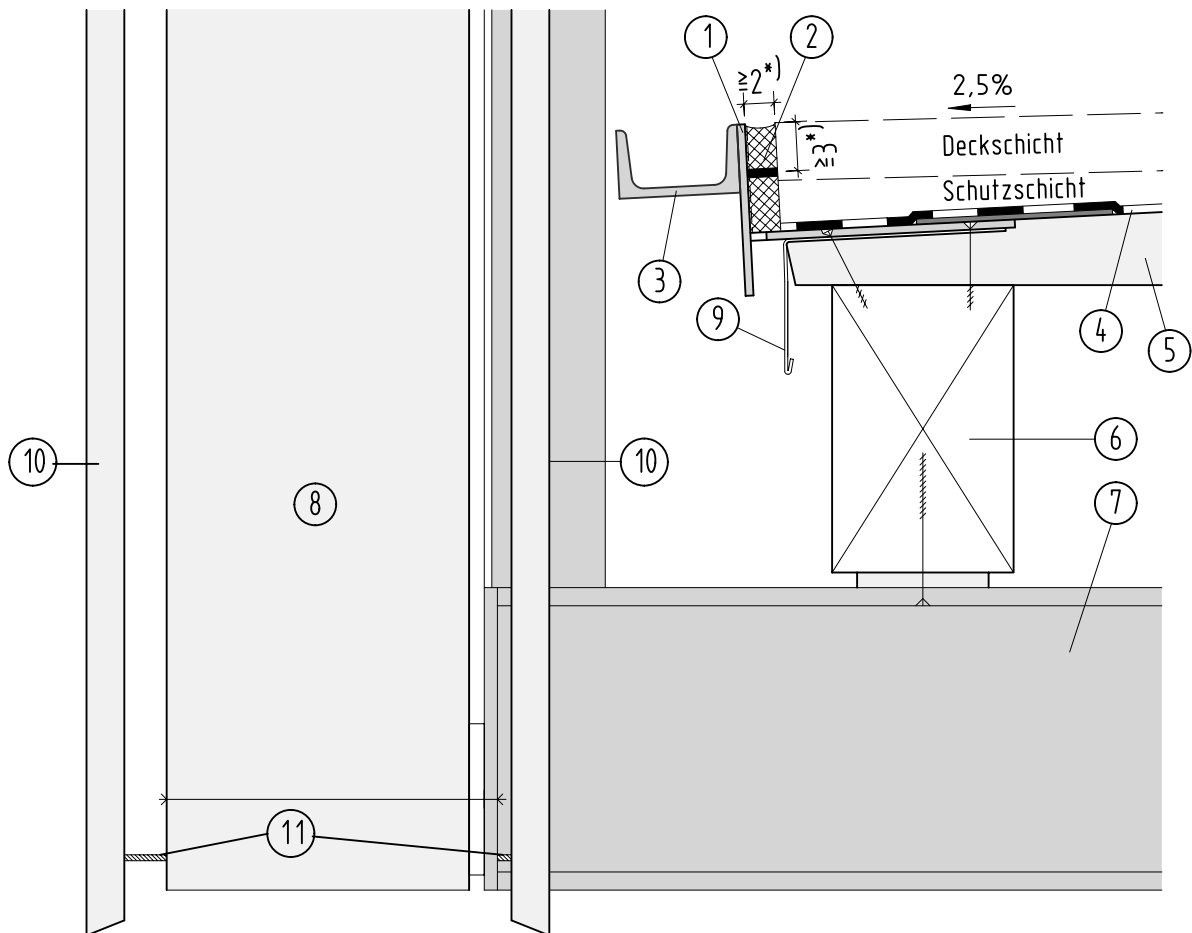
**H-Was 1**

10-20 18



# Querschnitt

1:5



- ① Randabschluss **H-Dicht 2**, korrosionsbeständig auch gegen Chloridangriff
- ② elastischer Fugenverguss nach **H-Dicht 3**
- ③ U-Profil als Ablaufrinne mit Dehnungsfugen, Fugenabdeckung durch innen, einseitig angeschweißtes Schleppblech
- ④ Dichtungsschichten nach **H-Dicht 1**
- ⑤ Unterkonstruktion für Fahrbahnaufbau
- ⑥ Lagerholz
- ⑦ Querträger
- ⑧ Hauptträger Trog mit Verschalung an Außen- und Innenseite
- ⑨ Tropfblech
- ⑩ Verschalung
- ⑪ Insektenschutz

ProTimB

Forschungsprojekt FH Erfurt

Musterzeichnung

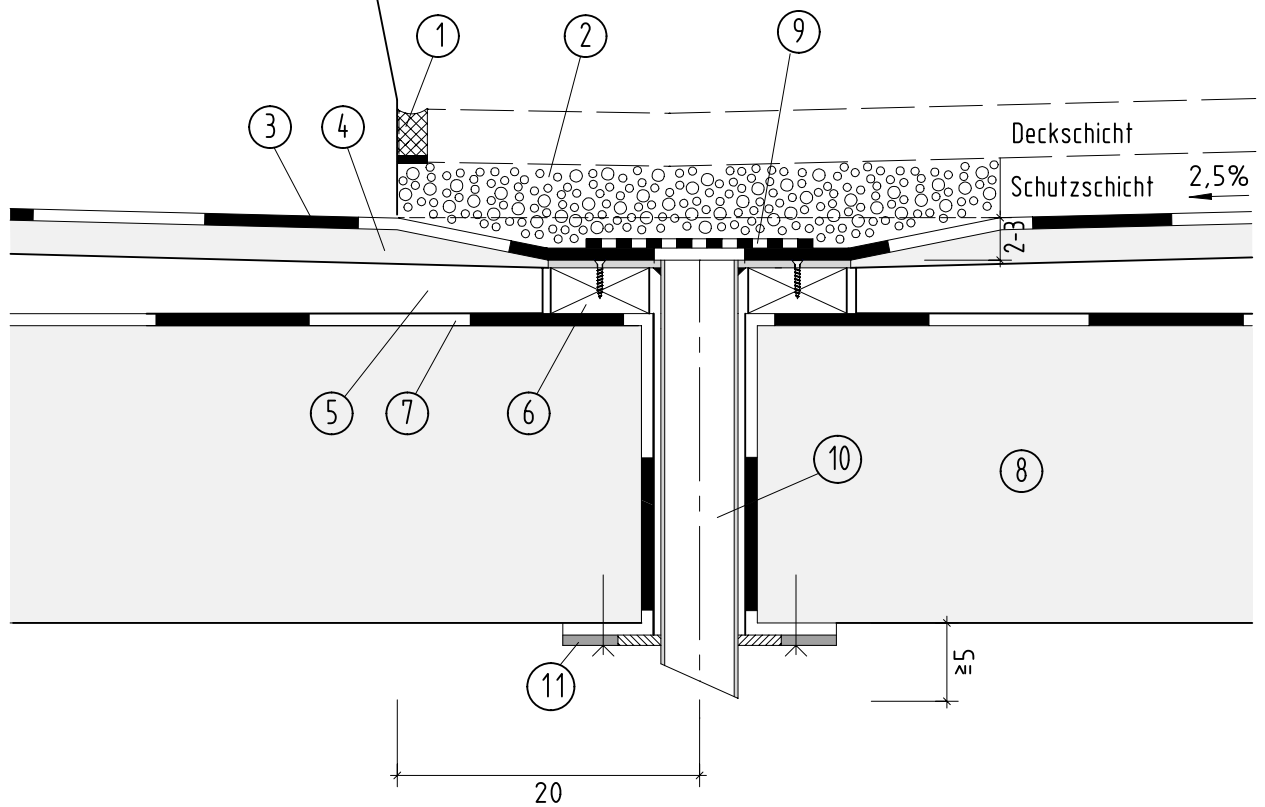
Trogbrücke  
seitliche Entwässerung

H-Was 2

10-20 18

# Querschnitt

1:5



- ① Fugenabdichtung nach **H-Dicht 3**
- ② Sickerschicht aus kunstharzgebundenem Einkornbeton 8/16 (Fläche ca. 40×40 cm)
- ③ Dichtungsschicht nach **H-Dicht 1**
- ④ Tragschicht aus Holzwerkstoffplatte  $d > 24$  mm
- ⑤ Lagerholz mit Neigung der Oberseite  $\geq 2,5$  %
- ⑥ Rahmen für Lagerung Tropftülle
- ⑦ Diffusionsoffene Unterdeckbahn
- ⑧ Hauptträger
- ⑨ Abdeckung mit Lochblech 150×150×6 mm
- ⑩ Stahlrohr 51×2,6 mm DIN EN 10297-2 mit Flansch 200×200×5 mm
- ⑪ Befestigungsflansch mit Insektenschutz

ProTimB  
Forschungsprojekt FH Erfurt

Tropftülle  
mit Sickerschicht  
bei Asphaltbelag

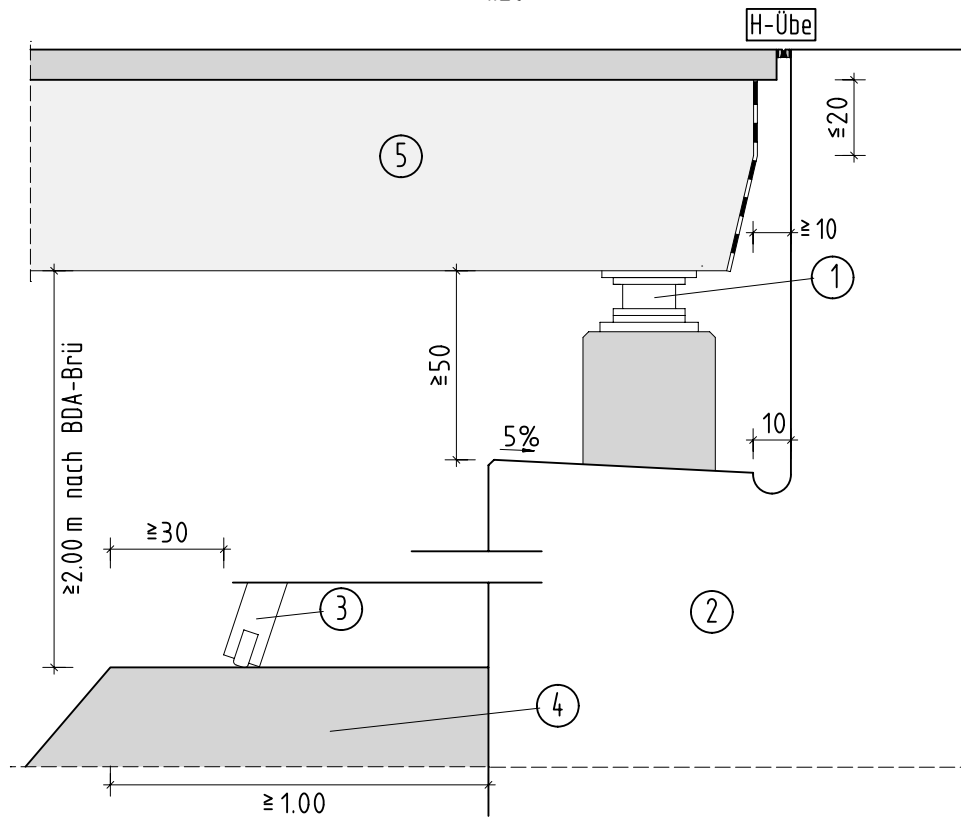
Musterzeichnung

**H-Was 3**

10-20 18

# Längsschnitt

1:20



- ① Lager
- ② Widerlager
- ③ Anleiterung mit Neigung 1:3
- ④ Berme  $\geq 100$  cm nach **Bösch 2**
- ⑤ Holzüberbau mit geschlossenem Belag

Mindestabstände gemäß BDA-Brü und **Bösch 2** beachten!

ProTimB  
Forschungsprojekt FH Erfurt

Zugänglichkeit  
Widerlager

Musterzeichnung

H-Zug 1

10-20 18

## **Anlage D**

# **Empfehlungen für Technische Vertragsbedingungen für Holzbrücken**

# Empfehlungen für Technische Vertragsbedingungen für Holzbrücken - ETV-HolzBr

## Vorwort

### Ziel

Die „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten“ (ZTV-ING) der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) beschreiben in zehn Teilen (1 Allgemeines; 2 Grundbau; 3 Massivbau; 4 Stahlbau, Stahlverbundbau; 5 Tunnelbau; 6 Bauverfahren; 7 Brückenbeläge; 8 Bauwerksausstattung; 9 Bauwerke; 10 Anhang) Anforderungen, die bei der Erstellung von Ingenieurbauwerken in der Hoheit des Bundes und der Länder zu berücksichtigen sind [ZTV-ING]. Ein Teil „Holzbau“ existiert nicht. Das vorliegende Dokument schließt diese Lücke.

### Geltungsbereich

Diese „Empfehlungen für Technische Vertragsbedingungen für Holzbrücken (ETV-HolzBr)“ regeln Ingenieurbauwerke in Holzbauweise und gelten insbesondere für geschützte Holzbrücken, zu denen sowohl reine Holzkonstruktionen, als auch kombinierte Holz- und Stahl- sowie Holz-Beton-Verbundkonstruktionen zählen.

Diese ETV regeln keine Lärmschutzwände aus Holz (siehe dazu [ZTV-LSW 06]).

Diese ETV gelten in Verbindung mit den ZTV-ING Teil 1 Allgemeines der BASt.

## Verfasser

Die Entwicklung der „Empfehlungen für Technische Vertragsbedingungen für Holzbrücken – ETV-HolzBr“ erfolgte im Rahmen des Forschungsprojektes „Entwicklung einheitlicher Richtlinien für den Entwurf, den Bau, die Überwachung und Prüfung geschützter Holzbrücken – Protected Timber Bridges (ProTimB)“. Das Projekt wurde finanziert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung, den Firmen der Qualitätsgemeinschaft Holzbrückenbau e.V. und dem Ingenieurbüro Setzpfandt Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG.

Projektleitung und Forscherteam:

Prof. Dr.-Ing. Antje Simon	Fachhochschule Erfurt
Prof. Dr.-Ing. Ralf Arndt	Fachhochschule Erfurt
Dr.-Ing. Markus Jahreis	Fachhochschule Erfurt
Johannes Koch	Fachhochschule Erfurt

Die Entwicklung der ETV-HolzBr wurde begleitet von einer Arbeitsgruppe, der folgende Experten angehörten:

Jürgen Schaffitzel	Schaffitzel Holzindustrie GmbH + Co. KG, Schwäbisch-Hall
Josef Schmees	Schmees & Lühn Holz- und Stahlingenieurbau 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 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)

## Empfehlungen für Technische Vertragsbedingungen für Holzbrücken - ETV-HolzBr

### Inhaltsverzeichnis

1	Anforderungen an Holz, Holzwerkstoffe und Klebstoffe .....	5
1.1	Allgemeines .....	5
1.2	Holzarten .....	5
1.3	Thermisch und chemisch modifizierte Hölzer .....	5
1.4	Anforderungen an Bauschnittholz .....	5
1.5	Anforderungen an Klebstoffe .....	5
1.6	Anforderungen an Holzwerkstoffe .....	6
1.7	Anforderungen an Querschnittsabmessungen .....	6
1.8	Anforderungen an die Oberflächenbeschaffenheit .....	7
1.9	Begrenzung der Formänderungen infolge Quellen und Schwinden .....	7
1.10	Holzfeuchtemonitoring .....	7
2	Holzschutz .....	7
2.1	Allgemeines .....	7
2.2	Anforderungen an Bauteile in Abhängigkeit von der Gebrauchsklasse .....	8
2.2.1	Einordnung einzelner Bauteile in die Gebrauchsklassen .....	8
2.2.2	Vorbeugende Maßnahmen für Bauteile in GK 1 .....	8
2.2.3	Vorbeugende Maßnahmen für Bauteile in GK 2 .....	8
2.2.4	Vorbeugende Maßnahmen für Bauteile in GK 3.1 .....	9
2.2.5	Vorbeugende Maßnahmen für Bauteile in GK 3.2 .....	9
2.3	Natürliche Dauerhaftigkeit von Holzarten .....	9
2.4	Baulicher Holzschutz .....	10
2.5	Chemischer Holzschutz .....	12
2.6	Beschichtungen .....	13
3	Metallene Verbindungsmittel und Stahlteile .....	13
3.1	Allgemeines .....	13
3.2	Anforderungen an metallene Verbindungsmittel .....	14
3.3	Ermittlung der Korrosionsbelastung .....	14
3.3.1	Allgemeines .....	14
3.3.2	Korrosionsbelastung infolge atmosphärischer Umgebungseinwirkungen .....	14
3.3.3	Korrosionsbelastung infolge Feuchte, Holzinhaltstoffen und Schutzmittel .....	15
3.4	Anforderungen an den Korrosionsschutz .....	16
4	Holz-Beton-Verbund .....	17
4.1	Allgemeines .....	17
4.2	Holz .....	17
4.3	Beton .....	18
4.4	Verbindungsmittel .....	18
4.5	Verbundbauweisen .....	18
4.6	Hinweise für Entwurf und Konstruktion .....	18

5	Grünbrücken .....	19
5.1	Allgemeines .....	19
5.2	Abdichtung zum Erdreich .....	19
5.3	Holzschutz .....	20
5.4	Korrosionsschutz .....	20
6	Bauausführung .....	20
6.1	Allgemeines .....	20
6.2	Herstellung der Bauteile .....	21
6.3	Transport und Lagerung .....	21
6.4	Wareneingang im Werk bzw. auf der Baustelle, Lieferung von Holzbauteilen .....	21
6.4.1	Hinweise zur Wareneingangskontrolle .....	21
6.4.2	Prüfung der Begleitdokumente .....	22
6.4.3	Zulässig Maßtoleranzen und deren Kontrolle.....	22
6.4.4	Kontrolle der Holzfeuchte, Grenzwerte.....	23
6.4.5	Zulässige Risse und deren Kontrolle.....	23
6.5	Montage.....	25
6.6	Holzschutz .....	25
6.7	Beschichtung von Hölzern und Holzwerkstoffen .....	26
6.8	Stahlbau und Korrosionsschutz.....	26
7	Ergänzungen zur ZTV-ING (Stand 10/2018).....	27
7.1	Ergänzung zu Teil 1, Abschnitt 2, 2.4: Ausführungszeichnungen.....	27
7.2	Ergänzung zu Teil 1, Abschnitt 2, 4: Bestandsunterlagen .....	27
8	Literatur.....	28
8.1	Normen .....	28
8.2	Richtlinien, Merkblätter .....	31
8.3	Sonstige Literatur.....	32



# 1 Anforderungen an Holz, Holzwerkstoffe und Klebstoffe

## 1.1 Allgemeines

Im Folgenden werden die Anforderungen an Holz und Holzwerkstoffe als Baustoff für Ingenieurbauwerke definiert.

## 1.2 Holzarten

Für Ingenieurbauwerke wird der Einsatz folgender Holzarten empfohlen:

Nadelhölzer: Lärche (*Larix decidua*; LADC), Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*; PSMN), Fichte (*Picea abies*; PCAB), Tanne (*Abies alba*; ABAL), Kiefer (*Pinus sylvestris*; PNSY)

Laubhölzer: Eiche (*Quercus robur* und *Quercus petraea*; QCXE), Robinie (*Robinia pseudoacacia*; ROPS), Azobé/ Bongossi (*Lophira alata*; LOAL)

Für den Einsatz von Robinienholz als tragendes Bauteil ist eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) erforderlich.

Es darf nur Holz aus nachhaltiger und legaler Waldbewirtschaftung eingesetzt werden. Der Nachweis ist durch den Auftragnehmer gegenüber dem Auftraggeber durch ein FSC-Zertifikat, ein gleichwertiges Zertifikat (z.B. PEFC) oder einen Einzelnachweis zu erbringen.

## 1.3 Thermisch und chemisch modifizierte Hölzer

Thermisch modifizierte Hölzer dürfen nur für nichttragende Bauteile eingesetzt werden. Acetyliertes Holz darf für tragende und nichttragende Bauteile eingesetzt werden. Für die Anwendung als tragendes Bauteil ist ein bauaufsichtlicher Verwendbarkeitsnachweis erforderlich.

## 1.4 Anforderungen an Bauschnittholz

Es darf nur Bauholz für tragende Zwecke verwendet werden, das den Anforderungen an die Sortierung gemäß DIN EN 14081-1 entspricht. Bei der visuellen Sortierung hat die Einordnung in die Sortierklassen nach DIN 4074-1 und DIN 4074-5 zu erfolgen.

Gemäß DIN 20000-5 ist trocken sortiertes Holz zu verwenden. Für Laubholz ist Abschnitt 6.4.4 zu beachten.

Nadelholz für Ingenieurbauwerke soll mindestens der Sortierklasse S10 bzw. S10K entsprechen, Laubholz mindestens der Sortierklasse LS10 bzw. LS10K. Diese Anforderung gilt auch für Schnittholz, welches in weiterverarbeiteter Form (Vollholzwerkstoffe) verwendet wird.

Bei frei bewitterten Hölzern sind die Querschnittsabmessungen für Vollholzquerschnitte zu begrenzen, da bei großen Querschnitten die Rissgefahr erhöht ist.

Für Holzbohlenbeläge, Geländer und Handläufe bestehen zur Gewährleistung der Verkehrssicherheit erhöhte Anforderungen an die Holzqualität. Hölzer mit starkem Drehwuchs, Astlöchern, größeren Fehlstellen, Abplatzungen und Absplitterungen dürfen für diese Bauteile nicht eingesetzt werden. Die Oberflächen und Kanten von Geländern und Handläufen sind so zu bearbeiten, dass kein Verletzungsrisiko besteht [SvfS Berlin].

## 1.5 Anforderungen an Klebstoffe

Für die Verklebung tragender Bauteile dürfen Klebstoffe auf Phenoplast- und Aminoplastbasis vom Typ I nach DIN EN 301, Einkomponenten-Klebstoffe auf Polyurethanbasis nach DIN EN 15425 oder Emulsionspolymerisierte Isocyanatklebstoffe nach DIN EN 16254 verwendet werden.

Geeignete Klebstoffe können den Klebstofflisten I und II der MPA Universität Stuttgart, Otto-Graf-Institut entnommen werden (siehe dazu [MPA Stuttgart 1] und [MPA Stuttgart 2]).

Die Ausführungsnorm DIN 1052-10 ist für die Herstellung geklebter tragender Bauteile zu beachten.

Für nicht tragende Bauteile (Verschalungen, Geländerfüllungen etc.) können Klebstoffe der Beanspruchungsgruppen D3 und D4 nach DIN EN 204 verwendet werden.

## 1.6 Anforderungen an Holzwerkstoffe

Anforderungen an Holzwerkstoffe sind in den Regelwerken gemäß Tabelle 1 definiert [Holzleimbau 1].

Tabelle 1: Regelungen zu Holzwerkstoffen

<b>Holzwerkstoff</b>	<b>Regelung</b>
Keilgezinktes Vollholz	DIN EN 15497 und DIN 20000-7
Balkenschichtholz	DIN EN 14080 und DIN 20000-3 oder gem. bauaufsichtlichem Verwendbarkeitsnachweis
Brettschichtholz	DIN EN 14080 und DIN 20000-3
Brettsperrholz	gem. bauaufsichtlichem Verwendbarkeitsnachweis oder DIN EN 16351 nach Einführung
Furnierschichtholz	DIN EN 14374 und Anwendungszulassung oder gem. bauaufsichtlichem Verwendbarkeitsnachweis
Sperrholz	DIN EN 636 und DIN 20000-1

Eine aktuelle Übersicht über geltende Regelwerke für Holzwerkstoffe gibt das „Merkblatt zu ansetzbaren Rechenwerten für die Bemessung nach DIN EN 1995-1-1 für Vollholz, keilgezinktes Vollholz, Balkenschichtholz (Duobalken/ Triobalken), Brettschichtholz, Brettsperrholz und Furnierschichtholz“ der Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. (siehe dazu [Holzleimbau 1]).

## 1.7 Anforderungen an Querschnittsabmessungen

Die in Tabelle 2 angegebenen Mindestmaße für tragende Holzbauteile in Holzbrücken sind auf alle Ingenieurbauwerke anzuwenden.

Tabelle 2: Mindestmaße für tragende Holzbauteile in Holzbrücken (vgl. DIN EN 1995-2/NA Tabelle NA.2)

<b>Bauteil</b>	<b>Kleinste Querschnittsseite [mm]</b>	<b>Kleinste Querschnittsfläche [mm<sup>2</sup>]</b>
Hauptträger aus Vollholz, Brettschichtholz, Balkenschichtholz und Furnierschichtholz (ausgenommen Fachwerkträger)	120	24 000
Einteilige Stäbe aus Fachwerken	40	4 800
Einzelne Querschnittsteile von zusammengesetzten Stäben	30	3 600
Knotenplatten und Laschen sowie Stege aus Sperrholz (mindestens 5-lagig)	12	a
Tragbelag aus Vollholz, einlagig	50 <sup>b</sup>	–
Tragbelag aus Holzwerkstoffplatten	20	–

<sup>a</sup> Mindestbreite von Knotenplatten und Laschen: 120 mm.  
<sup>b</sup> Für Geh- und Radwegbrücken 30 mm. Erforderlichenfalls ist eine Verschleißschicht nach Tabelle NA.3 hinzuzurechnen.

## 1.8 Anforderungen an die Oberflächenbeschaffenheit

Holzoberflächen sind grundsätzlich zu hobeln. Eine Ausnahme sind Belagsbohlen, welche rutschhemmend ausgebildet sein müssen.

Die Oberflächenqualität von Brettschichtholzelementen soll, wenn nicht anders vereinbart, Sicht-Qualität gemäß BS-Holz-Merkblatt der Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. (in aktueller Fassung) aufweisen [Holzleimbau 2]. Für Bauteile aus Vollholz und anderen Vollholzwerkstoffen sind diese Anforderungen sinngemäß anzuwenden.

## 1.9 Begrenzung der Formänderungen infolge Quellen und Schwinden

Quellen und Schwinden infolge Feuchtezunahme und -abgabe des Holzes aufgrund der jahreszeitlichen Klimaschwankungen führen zu Änderungen der Querschnittsabmessungen und der Querschnittsgeometrie (z. B. Schüsseln von Brettern). In geschützten Konstruktionen sind Holzfeuchtwerte zwischen 13 und 20 Masseprozent (M%) zu erwarten. Es wird empfohlen, eine Holzfeuchtevarianz von mindestens 6 M% einzukalkulieren. In Planung und Ausführung ist diese Eigenschaft des Holzes stets so zu berücksichtigen, dass eine zwängungsfreie Bauteilverformung ermöglicht wird, z.B. durch folgende Maßnahmen:

- Gabellagerungen von Hauptträgern sind bei der Anordnung von stiftförmigen Verbindungsmitteln mit Langlöchern zu versehen, um die Quell-Schwindverformung senkrecht zur Faser zwängungsfrei zu ermöglichen. Dies gilt auch für den Anschluss von U-förmigen Querrahmen bei Trogbrücken und ähnliche Anschlusskonstruktionen.
- Bei Brückenbelägen ist ein angemessener Abstand zwischen den Belagsbohlen zu beachten. Abhängig von der Holzart, der Bohlenbreite und der Einbaufeuchte sollten die Bohlenabstände 5 bis 13 mm betragen.

## 1.10 Holzfeuchtemonitoring

Es wird empfohlen, an kritischen Stellen des Holztragwerkes (z. B. im Auflagerbereich, an Knotenpunkten) ein Holzfeuchtemonitoring über einen Zeitraum von 2 bis 5 Jahren ab Bauwerkserstellung durchzuführen. Alternativ oder zusätzlich kann die langfristige Dichtheitskontrolle der Abdichtungsebene mit geeigneten Monitoringverfahren realisiert werden. Die Installation des Messequipments ist in der Ausführungsplanung detailliert zu planen. Die Messdaten sollten mit einer Datenfernübertragung an den Baulastträger zur Information und Auswertung übermittelt werden.

# 2 Holzschutz

## 2.1 Allgemeines

Infolge einer langfristig hohen Holzfeuchte von mehr als 20 M% und der Anreicherung von freiem Wasser kann Holz durch holzerstörende Pilze und Insekten befallen werden. Deshalb ist gemäß DIN EN 1995-2/NA jede Holzbrücke so zu planen und auszuführen, dass tragende Bauteile dauerhaft vor direkter Bewitterung und Feuchteeintrag geschützt sind. Für nichttragende Bauteile wird der bauliche Holzschutz ebenfalls empfohlen, da er die Nutzungsdauer der Bauteile verlängert. Die Konstruktion ist so zu planen, dass in keinem Bereich des Bauwerks stehendes Wasser auftreten kann, Wasseranreicherung ist auszuschließen.

Um langfristig ein verträgliches Holzfeuchteniveau  $\leq 20$  M% einzuhalten, sind stets bauliche Schutzmaßnahmen nach DIN 68800-2 und DIN EN 1995-2/NA anzuwenden. Bauliche Holzschutzmaßnahmen und die Verwendung von Farbkernhölzern mit ausreichend hoher natürlicher Dauerhaftigkeit haben stets Vorrang vor dem Einsatz chemischer Holzschutzmaßnahmen.

Beschichtungen stellen gemäß DIN 68800-1 keinen ausreichenden Holzschutz für tragende Bauteile dar und können lediglich eine zum baulichen Holzschutz ergänzende Maßnahme

sein. Für den Fall, dass Beschichtungen aufgebracht werden, ist eine laufende Instandhaltung der Beschichtung zu gewährleisten.

## 2.2 Anforderungen an Bauteile in Abhängigkeit von der Gebrauchsklasse

### 2.2.1 Einordnung einzelner Bauteile in die Gebrauchsklassen

Die einzelnen Holzbauteile sind gemäß DIN 68800-1 der jeweiligen Gebrauchsklasse (GK) zuzuordnen. Beispiele für die Zuordnung im Brückenbau gibt Abbildung 1 an.

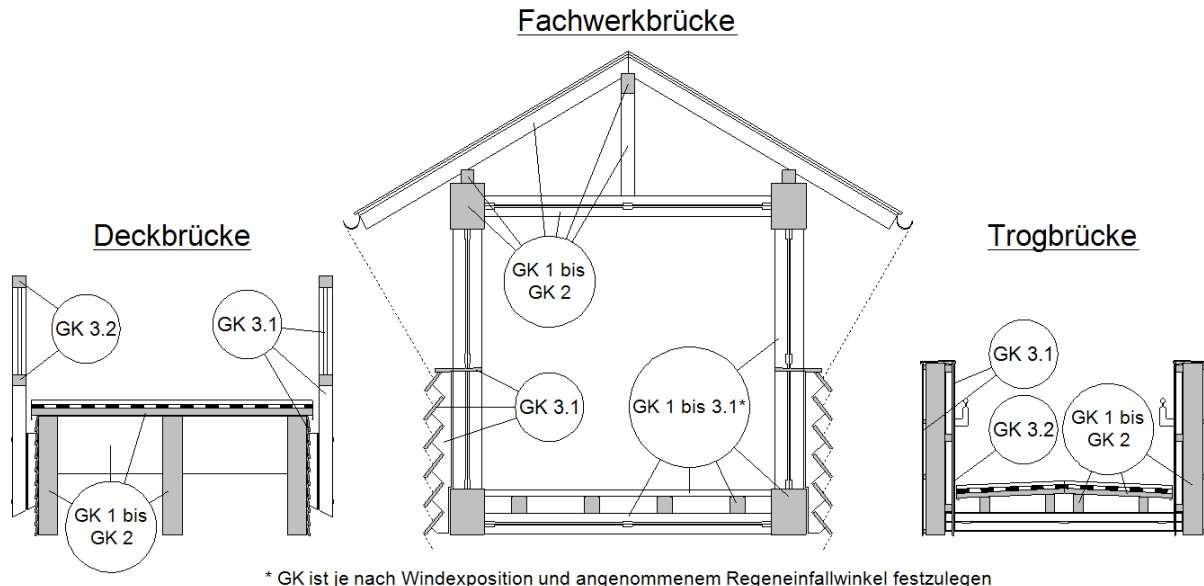


Abbildung 1: Zuordnung einzelner Bauteile zu den Gebrauchsklassen (GK)

In topografisch oder klimatisch exponierten Bereichen kann eine höhere Eingruppierung einzelner Bauteile erforderlich sein. Beispiele dafür sind auch Bereiche, in denen Sprühnebel auftritt oder Portalbereiche von Fachwerkbrücken, in denen ein Feuchteintrag infolge Niederschlag direkt erfolgt oder durch Passanten und Fahrzeuge Feuchte indirekt eingetragen wird.

### 2.2.2 Vorbeugende Maßnahmen für Bauteile in GK 1

Bauteile in GK 1 können als ausreichend vorbeugend geschützt eingestuft werden, wenn eine der folgenden Maßnahmen in Anlehnung an DIN 68800-1 angewendet wird:

- Bei guter Einsehbarkeit und Zugänglichkeit der Bauteile ist eine regelmäßige Kontrolle auf Anzeichen für einen Insektenbefall durchzuführen, z.B. im Rahmen der jährlichen Besichtigung. In den Prüfanweisungen, im Holzschutzplan und im Wartungshandbuch (ggf. Prüfhandbuch) ist auf das Erfordernis der regelmäßigen Prüfung hinzuweisen.
- bauliche Maßnahme zur Vermeidung von Insektenbefall nach DIN 68800-2 (z.B. Einflugschutz)
- Verwendung von Farbkernhölzern mit Splintholzanteil  $\leq 10\%$
- Verwendung technisch getrockneter Hölzer (Trocknungstemperatur  $\geq 55^\circ\text{C}$ ) oder von Holzprodukten mit CE-Kennzeichnung und ausgewiesener natürlicher Dauerhaftigkeit gegen Hausbock und Anobien nach DIN EN 350

Die Anwendung von chemischen Holzschutzmitteln in GK1 nach DIN 68800-3 soll an Holzbrücken abweichend von DIN 68800-1 nicht erfolgen.

### 2.2.3 Vorbeugende Maßnahmen für Bauteile in GK 2

Bauteile in GK 2 können als ausreichend vorbeugend geschützt eingestuft werden, wenn eine der folgenden Maßnahmen in Anlehnung an DIN 68800-1 angewendet wird:

- bauliche Maßnahme zur Vermeidung von Insekten- und Pilzbefall nach DIN 68800-2
- Verwendung von Farbkernhölzern der Dauerhaftigkeitsklassen 1, 2 und 3 und natürlicher Dauerhaftigkeit gegen Insekten durch Begrenzung des Splintholzanteils auf  $\leq 5\%$
- Verwendung von Holzprodukten mit CE-Kennzeichnung und ausgewiesener natürlicher Dauerhaftigkeit gegen holzerstörende Pilze (Dauerhaftigkeitsklassen 1, 2 oder 3) und ausgewiesener natürlicher Dauerhaftigkeit gegen Insekten nach DIN EN 350

Die Anwendung von chemischen Holzschutzmitteln in GK2 nach DIN 68800-3 soll an Holzbrücken abweichend von DIN 68800-1 nicht erfolgen.

#### **2.2.4 Vorbeugende Maßnahmen für Bauteile in GK 3.1**

Bauteile in GK 3.1 können als ausreichend vorbeugend geschützt eingestuft werden, wenn eine der folgenden Maßnahmen in Anlehnung an DIN 68800-1 angewendet wird:

Haupttragelemente nach DIN EN 1995-2/NA:

- bauliche Maßnahme zur Vermeidung von Insekten- und Pilzbefall nach DIN 68800-2

Sekundäre Tragglieder und Wartungsbauteile:

- bauliche Maßnahme zur Vermeidung von Insekten- und Pilzbefall nach DIN 68800-2
- Verwendung von Farbkernhölzern der Dauerhaftigkeitsklassen 1, 2 und 3 und natürlicher Dauerhaftigkeit gegen Insekten sowie Splintholzanteil  $\leq 5\%$
- Verwendung von Holzprodukten mit CE-Kennzeichnung und ausgewiesener natürlicher Dauerhaftigkeit gegen holzerstörende Pilze (Dauerhaftigkeitsklassen 1, 2 oder 3) und ausgewiesener natürlicher Dauerhaftigkeit gegen Insekten nach DIN EN 350

Die Anwendung von chemischen Holzschutzmitteln in GK3.1 nach DIN 68800-3 soll an Holzbrücken abweichend von DIN 68800-1 nicht erfolgen.

#### **2.2.5 Vorbeugende Maßnahmen für Bauteile in GK 3.2**

Bauteile in GK 3.2 können als ausreichend vorbeugend geschützt eingestuft werden, wenn eine der folgenden Maßnahmen in Anlehnung an DIN 68800-1 angewendet wird:

Haupttragelemente nach DIN EN 1995-2/NA:

- bauliche Maßnahme zur Vermeidung von Insekten- und Pilzbefall nach DIN 68800-2

Sekundäre Tragglieder und Wartungsbauteile:

- bauliche Maßnahme zur Vermeidung von Insekten- und Pilzbefall nach DIN 68800-2
- Verwendung von Farbkernhölzern der Dauerhaftigkeitsklassen 1 und 2 und natürlicher Dauerhaftigkeit gegen Insekten sowie Splintholzanteil  $\leq 5\%$
- Verwendung von Holzprodukten mit CE-Kennzeichnung und ausgewiesener natürlicher Dauerhaftigkeit gegen holzerstörende Pilze (Dauerhaftigkeitsklassen 1 oder 2) und ausgewiesener natürlicher Dauerhaftigkeit gegen Insekten nach DIN EN 350

Die Anwendung von chemischen Holzschutzmitteln in GK3.2 nach DIN 68800-3 soll an Holzbrücken abweichend von DIN 68800-1 nicht erfolgen.

### **2.3 Natürliche Dauerhaftigkeit von Holzarten**

Die Kernhölzer der verschiedenen Holzarten weisen eine holzartabhängige natürliche Widerstandsfähigkeit gegen den Befall durch holzerstörende Pilze und Insekten auf. Die Verwendung von Hölzern mit hoher Dauerhaftigkeit bietet die Möglichkeit der Erfüllung der Anforderungen an den Holzschutz gemäß DIN 68800-1. Die Anwendung der jeweiligen Holzart in der entsprechenden Gebrauchsklasse ist Tabelle 3 zu entnehmen.

Tabelle 3: Dauerhaftigkeitsklasse (DHK) und zulässige Gebrauchsklasse (GK) verschiedener Holzarten in Anlehnung an Tabelle 5 der DIN 68800-1

Holzart		Dauerhaftigkeitsklasse	zulässige GK
Nadelholz	Fichte ( <i>Picea abies</i> )	4	0
	Tanne ( <i>Abies alba</i> )	4	0
	Kiefer ( <i>Pinus sylvestris</i> )	3-4	0, 1, 2
	Lärche ( <i>Larix decidua</i> )	3-4	0, 1, 2, 3.1
	Douglasie ( <i>Pseudotsuga menziesii</i> )	3-4	0, 1, 2, 3.1
Laubholz	Eiche ( <i>Quercus robur und Quercus petraea</i> )	2-4	0, 1, 2, 3.1, 3.2
	Robinie ( <i>Robinia pseudoacacia</i> )	1-2 <sup>a</sup>	0, 1, 2, 3.1, 3.2
	Azobé/ Bongossi ( <i>Lophira alata</i> )	2 <sup>b</sup>	0, 1, 2, 3.1, 3.2, 5
<sup>a</sup> DHK gem. DIN EN 350; daraus ergibt sich infolge Tabelle 4 der DIN 68800-1 die GK <sup>b</sup> ungewöhnlich große Variabilität der Eigenschaften; sehr dauerhaft im Wasserkontakt			

## 2.4 Baulicher Holzschutz

Der bauliche Holzschutz zielt darauf ab, Bauteile durch den Einsatz von Abdeckblechen und -brettern, Verschalungen und Dächern sowie durch deren Überstände vor freier Bewitterung und/oder mehrwöchiger Feuchteanreicherung zu schützen. Die Anforderungen nach Anhang NA.C.1 der DIN EN 1995-2/NA sind zu berücksichtigen. Gemäß NA.1 dieser Norm sind Bauteile, die nicht oder nur mit erheblichem Aufwand ausgetauscht werden können, wie z.B. Hauptträger, als geschützte Bauteile auszubilden.

Konstruktiver Holzschutz an Brücken kann durch einen geschlossenen Belag bzw. ein Dach mit ausreichendem seitlichen Überstand und/oder durch Verschalung der Konstruktion realisiert werden. Abdeckungen müssen mindestens so weit überstehen, dass ein unter 30° gegenüber der Vertikalen einfallender Regen die tragende Holzkonstruktion nicht erreicht. An windexponierten Standorten kann ein deutlich größerer Regeneinfall-Winkel auftreten, die Schutzmaßnahmen sind in diesem Fall auszuweiten. Besonders gefährdet sind Untergurte von Fachwerkträgern, da in die Knotenpunkte und horizontalen Risse Wasser eindringen und nicht abfließen kann. Bei unbekannter Windexposition wird empfohlen, in der statischen Berechnung Lastreserven für den nachträglichen Einbau einer zusätzlichen Verschalung einzuplanen.

Die Herstellung des konstruktiven Holzschutzes mit einem ausreichenden seitlichen Überstand der darüber liegenden Konstruktion ist der Verschalung vorzuziehen, da eine Verschalung die handnahe Prüfung der Tragkonstruktion erschwert. Ist die Anordnung einer Verschalung notwendig, so erleichtert eine offene Verschalung die handnahe Prüfung. Eine geschlossene Verschalung ist zur Verbesserung der Prüfbarkeit der dahinter angeordneten Konstruktion einfach demontierbar oder abklappbar einzubauen.

Die Musterzeichnungen für geschützte Holzbrücken (Download unter <https://informationsdienst-holz.de/musterzeichnungen-fuer-holzbruecken/>) sind zu beachten.

Folgende **grundsätzliche und besondere bauliche Maßnahmen des Holzschutzes** sind im Holzbrückenbau einzuhalten:

- Holzbrücken sind wartungsarm (z. B. durch integrale Bauweisen, wasserdichte Fahrbahnübergänge, geschlossene Beläge, Vermeidung von Wartungsfugen mit „dauerelastischen“ Dichtstoffen) oder wartungsfreundlich (Erleichterung der Reinigung und Bauwerksprüfung durch ausreichend große Abstände der Bauteile untereinander z. B. Abstand zwischen UK Überbau und OK Auflagerbank  $\geq 50$  cm) zu planen.
- Ein unzuträglicher Feuchteintrag durch Niederschlag, Bodenfeuchte und angrenzende Bauteile während Transport, Lagerung und Bauphase in Holzbauprodukte und

Holzbauteile ist wirksam zu verhindern (z.B. Auflagerung mit Bodenfreiheit, Abdeckung mit Folien oder Planen etc.).

- Die schnelle Abtrocknung aller Holzbauteile muss gewährleistet sein.
- Die Einbauholzfeuchte sollte der am Standort zu erwartenden Nutzungsfeuchte entsprechen (ca. 16 bis 18 M%).
- Holzbauteile und ihre Knotenpunkte und Anschlüsse sind so auszubilden, dass Niederschlag durch einen Wetterschutz ferngehalten oder so schnell abgeleitet wird, dass keine unzuträgliche Erhöhung der Holzfeuchte erfolgen kann und keine Feuchteanreicherung stattfindet. Folgende Maßnahmen sind zu beachten:
  - Jede Holzbrücke ist als geschützte Konstruktion gemäß DIN EN 1995-2/NA auszubilden durch Anordnung eines geschlossenen Belages, von Verschalungen und Abdeckungen und/oder eines Daches. Abdeckungen/Dächer müssen mindestens so weit überstehen, dass ein unter 30° einfallender Regen die tragende Holzkonstruktion nicht erreicht (Abbildung 2).
  - Vermeidung horizontaler Flächen durch Abschrägung oder Einbau mit Neigung,
  - Hobeln ungeschützter Oberflächen,
  - Anordnung von Tropfkanten,
  - Begrenzung der Rissbildung durch Beschränkung des Querschnitts, Verwendung kerngetrennt eingeschnittener Hölzer, Herstellung von Entlastungsnuten etc.
  - Anordnung hinterlüfteter Verschalungen mit einer Luftschichtdicke  $\geq 20$  mm und geeigneten Be- und Entlüftungsöffnungen,
  - besonderer Schutz der Hirnholzflächen z.B. durch Anordnung wasserdichter Übergangskonstruktionen, Anordnung hinterlüfteter Bleche oder Bretter und/oder Hirnholzschutz durch diffusionsoffenen Anstrich oder Unterdeckbahn (Die Belüftung und Zugänglichkeit der Hirnholzflächen ist zu gewährleisten z. B. durch Abschrägung der Hirnholzenden und Einhaltung des Abstandes zur Kammerwand  $\geq 10$  cm.),
  - Knotenpunkte und Anschlüsse (vor allem bei Fachwerkknoten, Zapfenlöchern, innen- und außenliegenden Blechen) sind so auszubilden, dass eingedrungenes Wasser ablaufen kann und eine Feuchteanreicherung ausgeschlossen wird. Zur besseren Prüfbarkeit sollten Knotenpunkte nicht mit Blechen o. ä. abgedeckt, sondern frei einsehbar konstruiert werden.
  - Abdichtungen dürfen nicht durch Verbindungsmittel perforiert werden.

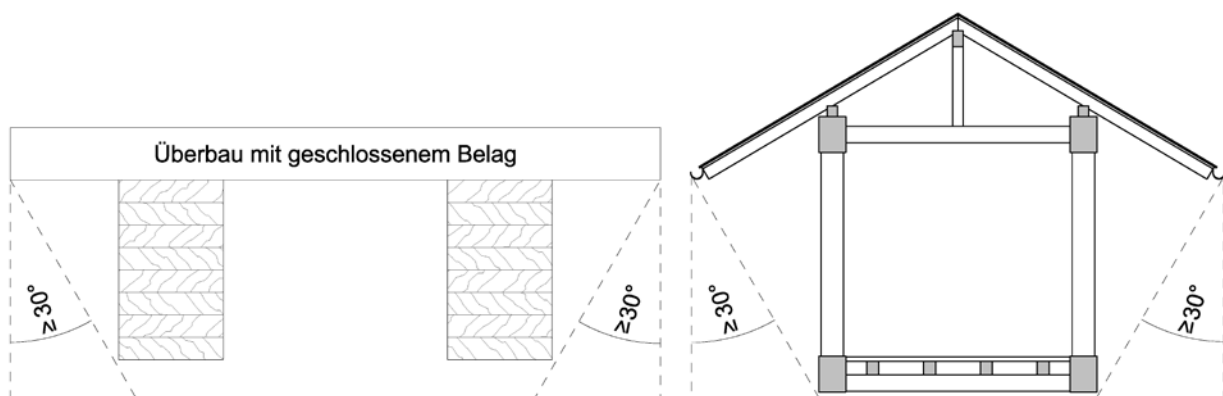


Abbildung 2: Definition eines Überstandes mit schützender Wirkung für die darunter liegende Konstruktion (li.: Deckbrücke; re.: Fachwerkbrücke)

- Holzbauteile sind luftumspült mit angemessenem Abstand zu anderen Bauteilen und zum Gelände einzubauen, um einen Feuchteübertrag oder eine Feuchteanreicherung zu vermeiden und eine schnelle Trocknung zu ermöglichen. Folgende Grundsätze sind zu beachten:
  - Holzbauteile sind so einzubauen, dass kein Erdkontakt auftritt (z.B. Kammerwand und Widerlagerschürzen vorsehen).
  - Im Bereich der Auflager sind geeignete Maßnahmen zu ergreifen, um den Bewuchs und die Ablagerung von organischen Bestandteilen dauerhaft zu verhindern. Die Bildung von Schmutznestern, insbesondere durch Laub-, Erd-, Splitt- und Schneeansammlungen, ist zu vermeiden. Dazu ist der Übergang zwischen Überbau und Kammerwand möglichst geschlossen auszubilden.
  - Das Einbetonieren von Holzbauteilen ist nicht zulässig.
  - Zum Schutz vor Spritzwasser sollte der Abstand aller Holzbauteile vom Boden  $\geq 50$  cm betragen, der Mindestabstand von 30 cm darf nicht unterschritten werden.
  - Eine ausreichende Belüftung sowie die Reinigungs- und Revisionsfähigkeit des gesamten Überbaus sind zu gewährleisten (z.B. Abstand Unterkante Überbau zum Boden  $\geq 100$  cm).
  - Kontaktflächen und enge Fugen zwischen Holzbauteilen sind zu minimieren (z. B. durch Anordnung von Abstandsscheiben oder von Konterlattungen für Verschalung).
- Insektenbefall ist auszuschließen (z.B. durch Einsatz technisch getrockneter Hölzer und Holzwerkstoffe, Verwendung insektenundurchlässiger Abdeckungen, Verwendung von Farbkernhölzern mit Splintanteil  $\leq 10$  %, offene Anordnung der Hölzer mit dauerhaftem Hinweis zur regelmäßigen Kontrolle).

## 2.5 Chemischer Holzschutz

Nur wenn durch die Anwendung der grundsätzlichen und besonderen baulichen Schutzmaßnahmen sowie den Einsatz von geeigneten dauerhaften Farbkernhölzern kein ausreichender Holzschutz sichergestellt werden kann, sind gemäß DIN 68800-1 chemische Holzschutzmittel nach DIN 68800-3 einzusetzen. Die Anwendung von chemischem Holzschutzmitteln im Sinne von DIN 68800-3 bedarf der Zustimmung des Bauherrn. Für die Verwendung chemischer Holzschutzmittel ist ein bauaufsichtlicher Verwendbarkeitsnachweis sowie der Nachweis über das Einbringverfahren und die Einbringmenge vorzulegen.

Nicht tragende Bauteile sollen nicht mit Holzschutzmittel behandelt werden. Eine Abweichung davon bedarf der Zustimmung des Bauherrn.

Hinsichtlich der Gefahr einer Verblauung von Holzbauteilen infolge des Wachstums holzverfärbender Pilze ist zu beachten, dass bei untergeordneten Bauwerken keine Bläueschutzmittel einzusetzen sind.

Wenn erhöhte Anforderungen an das Erscheinungsbild des Bauwerkes oder einzelner Bauteile gestellt werden, ist für beschichtete Bauteile in GK 2, GK 3.1 und GK 3.2 folgendes zu beachten:

- Bläueschutzmittel können in GK 2 und GK 3.1 angewendet werden. Tabelle 4 ist zu beachten.
- Bläueschutzmittel können bei Bauteilen mit Splintholz- Anteil  $> 5$  % und bei Nadelhölzern in GK 3.2 angewendet werden (in Anlehnung an DIN 18363).

Auch wenn erhöhte Anforderungen an das Erscheinungsbild gestellt werden, sind Bläueschutzmittel nicht bei Bauteilen in GK 0, GK 1, GK 4 und GK 5 anzuwenden, ebenso bei nicht



beschichteten Bauteilen in GK 3.1 und GK 3.2. Die Anwendung von Bläueschutzmittel für nicht beschichtete Bauteile in GK 2 wird in diesem Fall nicht empfohlen.

Tabelle 4: Anwendung von Bläueschutzmitteln für beschichtete Bauteile in GK 2 und GK 3.1 in Anlehnung an Tabelle C.1 gemäß DIN 68800-3 Anhang C

Dauerhaftigkeitsklasse (DHK) des betroffenen Bauteils gemäß DIN EN 350-2	Gebrauchsklassen (GK) gemäß DIN 68800-1	
	GK 2	GK 3.1
Kernholz DHK 1 – 3	keine Anwendung	keine Anwendung
Kernholz DHK 4	Anwendung möglich	Anwendung möglich
Kernholz DHK 5	Anwendung möglich	Anwendung möglich
Splintholz- Anteil > 5%	Anwendung möglich	Anwendung empfohlen

## 2.6 Beschichtungen

Beschichtungen (z.B. Lasuren) im Sinne von DIN 68800-1 können einen Beitrag zum Schutz des Holzes leisten, bieten jedoch allein keinen ausreichenden Holzschutz für tragende Bauteile. Gemäß DIN EN 927-1 muss eine Beschichtung für die jeweils geltende Beanspruchung geeignet sein und den Anforderungen an DIN EN 927-2 entsprechen. Die Angaben des Herstellers sind zu beachten.

Bei der Anwendung von Beschichtungen ist Folgendes zu beachten [BFS]:

- Beschichtungsmittel müssen für die jeweilige Holzart geeignet und mit ggf. eingesetztem Holzschutzmittel verträglich sein.
- Beschichtungsmittel sollen diffusionsoffen und hell pigmentiert sein sowie Schutz vor ultravioletter (UV) Strahlung bieten.
- Bei zu erwartender hoher Umgebungsfuchte (z.B. infolge dauerhafter Verschattung) sollte das Beschichtungsmittel schimmelpilzwidrig sein [DGfH].
- Beschichtungen sind mehrschichtig aufzubauen und systemkonform auszuführen.
- Die Außenkanten zu beschichtender Bauteile sind mit einer Fase oder einer Rundung mit einem Rundungsradius  $\geq 2$  mm zu versehen. Bei filmbildenden Beschichtungen und im bewitterten Bereich ist die Rundung erforderlich.
- Die maximal zulässige Holzfeuchte von zu beschichtenden Bauteilen ist entsprechend des Produktdatenblattes des jeweiligen Beschichtungsmittels einzuhalten. Wenn nichts anderes angegeben ist, sollen 18 M% nicht überschritten werden.
- Verschalungen sind vor dem Einbau auch auf der Rückseite mit der Beschichtung zu versehen.
- Oberflächenbeschichtungen sind regelmäßig zu reinigen, zu pflegen und zu erneuern.

## 3 Metallene Verbindungsmittel und Stahlteile

### 3.1 Allgemeines

Bei Holzbrücken können drei verschiedene stählerne Bauteilarten zur Anwendung kommen: Stahlbauelemente (z.B. Quer- und Längsträger, Stützen, Pylone, Verbände und Brückengeländer), Stahlteile (z.B. Stützenfüße, Knotenbleche, Laschen) und metallene Verbindungsmittel (z.B. Schrauben, Nägel, Bolzen, Dübel, Muttern, Scheiben, Gewindestangen und Dübel besonderer Bauart) [SvfS Berlin].

Stahlbauelemente sind in den ZTV-ING Teil 4 Stahlbau, Stahlverbundbau geregelt [ZTV-ING]. Bezüglich des Korrosionsschutzes ist das vorliegende Dokument zusätzlich anzuwenden,

wenn Stahlbauelemente direkt oder indirekt (z.B. Lage unter Abtropfbereich von Holzbauteilen) im Kontakt zu Holzbauteilen eingebaut werden.

Gemäß DIN EN 1995-2/NA betragen die Mindestdicken für Metallteile 3 mm. Nichtrostende Blechformteile für Geh- und Radwegbrücken sind mindestens 2 mm dick auszuführen.

Stahlteile und metallene Verbindungsmittel stehen im direkten Kontakt mit Holz und sind zusätzlich Belastungen aus atmosphärischen Umgebungsbedingungen ausgesetzt. Aus der Exposition gegenüber dem Holz und der umgebenden Atmosphäre leiten sich für die eingesetzten Stahlbauteile und metallenen Verbindungsmittel die im Folgenden erläuterten, notwendigen Korrosionsschutzmaßnahmen ab.

### **3.2 Anforderungen an metallene Verbindungsmittel**

Gemäß DIN 20000-6 sind stiftförmige Verbindungsmittel nach DIN EN 14592 und nicht stiftförmige Verbindungsmittel nach DIN EN 14545 anwendbar.

Für Verbindungen in Holzbrücken dürfen gemäß DIN EN 1995-2 keine Klammern, Nagelplatten und axialbelasteten Nägel verwendet werden. Darüber hinaus sind glattschaftige Nägel nicht zu verwenden.

Gemäß DIN EN 1995-1-1/NA dürfen Dübel besonderer Bauart aus Aluminiumlegierung nur in den Nutzungsklassen 1 und 2 eingesetzt werden.

### **3.3 Ermittlung der Korrosionsbelastung**

#### **3.3.1 Allgemeines**

Zur Festlegung der Korrosionsschutzmaßnahmen sind Belastungen durch atmosphärische Umgebungseinflüsse, chemische Holzschutz- und Flammschutzmittel, vorhandene Holzinhaltstoffe und Feuchtigkeitseintrag zu berücksichtigen. Es ist für jedes Projekt individuell zu prüfen, ob weitere Einflussfaktoren Auswirkungen auf die Korrosion metallener Bauteile haben, z. Bsp.: Belastung durch Chemikalien, ständiger Kontakt mit Wasser, Abrieb durch erhöhte Feststoffkonzentration in der Luft in Verbindung mit einer windexponierten Lage, Kontakt mit säurehärtenden Phenolharzen etc.

#### **3.3.2 Korrosionsbelastung infolge atmosphärischer Umgebungseinwirkungen**

Für alle Bauteile ist die Korrosionsbelastung aus atmosphärischen Umgebungseinwirkungen abzuschätzen. Gemäß Tabelle 5 ist zu beurteilen, welche Korrosivitätskategorie (C-Klasse) gemäß DIN EN ISO 9223 auf Grundlage der zu erwartenden Korrosivitätsexposition mit Chloriden und Schadstoffen vorliegt.

Bauteile von Brücken im Sinne dieses Dokuments sind in der Regel mindestens in Korrosivitätskategorie C3 einzuordnen. Die Zuordnung zu Korrosivitätskategorie C2 soll nur in begründeten Ausnahmen erfolgen, da z.B. ein Eintrag von Auftausalzen in den seltensten Fällen gänzlich ausgeschlossen werden kann. Eine Zuordnung zur Korrosivitätskategorie C1 ist nicht vorzusehen.

Tabelle 5: Definition der Korrosivitätskategorie (C-Klassen) in Anlehnung an Tabelle B.2 aus E DIN EN 14592:2017

C-Klasse		Klima/ Luftfeuchte	Korrosionsexposition mit Chloriden		Korrosionsexposition mit Schadstoffen	
			Typische Umgebung	Cl-Depositionsratesrate [µg/(m²·d)]	Typische Umgebung	SO <sub>2</sub> -Gehalt [µg/m³]
C1	Unbedeutend	Trocken oder kalt/seltene Kondensation	Regionen, weit von der Küstenlinie entfernt	~ 0	Bestimmte Wüsten, zentrale Arktis/Antarktis	~ 0
C2	Gering	Gemäßigt/seltene Kondensation	> 10 km von der Küstenlinie entfernt	≤ 3	Gering verschmutzte ländliche Gegenden, Kleinstädte	< 5
C3	Mäßig	Gemäßigt/gelegentliche Kondensation	Etwa 10 km bis 3 km von der Küstenlinie entfernt/Spritzwasserzone in der Nähe von Straßen (etwa 10 m bis 100 m)	3 - 60	Mäßig verschmutzte Stadt- und Industriegebiete	5 - 30
C4	Stark	Gemäßigt/häufige Kondensation	Etwa 3 km bis 0,25 km von der Küstenlinie entfernt (ohne Sprühnebel)/Starke Wirkung von Streusalzen (etwa 0 m bis 10 m)	60 - 300	Stark verschmutzte Stadt und Industriegebiete	30 - 90
C5	Sehr stark	Gemäßigt/dauerhaft sehr hohe Häufigkeit von Kondensation	< 0,25 km von der Küstenlinie entfernt, gelegentlicher Sprühnebel	> 300	Umgebung mit sehr hoher industrieller Verschmutzung	90 - 250

### 3.3.3 Korrosionsbelastung infolge Feuchte, Holzinhaltstoffen und Schutzmittel

Gemäß Tabelle 6 ist zu beurteilen, welche Holzkorrosivitätsklasse (T-Klasse) auf Grundlage der zu erwartenden Korrosivitätsexposition bezüglich Feuchte, Holzinhaltstoffen und Schutzmittelbehandlung vorliegt.

Die Intensität der Korrosion ist abhängig von der Feuchte der Holzbauteile, welche in Kontakt zu den Stahlbauelementen, Stahlteilen und metallene Verbindungsmitteln stehen. Bauteile von Holzbrücken sind aufgrund ihrer Lage im Außenbereich mindestens der Klasse T3 zuzuordnen. Geschützte Bauteile von Holzbrücken sind i.d.R. dem Holzfeuchtebereich 16 bis 20 M% zuzuordnen, ungeschützte Bauteile i.d.R. dem Holzfeuchtebereich > 20 M%. Bereiche, in denen freies Wasser, welches mit ausgeschwemmten Holzinhaltstoffen und/oder Schutzmitteln belastet sein kann, auf Stahlbauelemente, Stahlteile und metallene Verbindungsmittel abtropft, sind ebenfalls dem höheren Feuchtebereich zuzuordnen.

Einige Holzinhaltstoffe wie Gerbsäure, Essigsäure und Abietinsäure, die in verschiedenen Hölzern in unterschiedlichen Konzentrationen vorkommen, sowie ein geringer pH-Wert wirken korrosiv. Darüber hinaus fördern chemisch modifizierte Hölzer (z.B. durch Acetylierung) und thermisch behandelte Hölzer die Korrosion. Eine geringere korrosive Wirkung haben i.d.R. die Holzarten Fichte, Tanne, Kiefer und Lärche sowie Holzarten mit pH-Werten 4 – 6. Eine höhere korrosive Wirkung entfalten i.d.R. die Holzarten Douglasie, Eiche, Robinie, Azobé/Bongossi und Holzarten mit pH-Werten ≤ 4 sowie acetyliertes und thermisch behandeltes Holz.

Holzschutzmittel können je nach Inhaltsstoffen mehr oder weniger korrosiv wirken. Relativ stark korrosiv wirken Schutzmittel, welche Kupfer oder Salze wie Chloride enthalten. Flammschutzmittel gelten ebenfalls als korrosionsfördernd. Für Schutzmittel, die im Holzfeuchtebereich von 16 bis 20 M% keine korrosive Wirkung entfalten, ist diese Eigenschaft durch den Hersteller zu bestätigen, anderenfalls ist eine Einstufung in Klasse T4 erforderlich.

Tabelle 6: Definition der Holzkorrosivitätsklasse (T-Klassen) in Anlehnung an Tabelle B.3 aus E DIN EN 14592:2017

<b>T-Klasse</b>	<b>Holzfeuchtegehalt</b>	<b>korrosionsfördernde Holzarten/ Säuregehalt des Holzes</b>	<b>Schutzmittelbehandlung</b>
T1	< 10 M%	Alle	Unbehandelt
T2	10 - 16 M%	Alle	Unbehandelt
T3	16 - 20 M%/ NKL2/ geschütztes Bauteil	Holzarten mit pH-Wert 4 – 6/ Fichte, Tanne, Kiefer, Lärche	Unbehandelt/Schutzmittel ohne ausgeprägte korrosionsfördernde Eigenschaften (z. B. ölige Schutzmittel und Zusammensetzungen mit Bor)
T4		Holzarten mit pH-Wert ≤ 4/ Douglasie, Eiche, Robinie, Azobé/ Bongossi, acetyliertes Holz, thermisch behandeltes Holz	Schutzmittel mit korrosionsfördernden Eigenschaften (z. B. Flammenschutzmittel, Zusammensetzungen mit Kupfer und Zusammensetzungen mit Chloriden und anderen Salzen)
T5	> 20 M%/NKL3/ ungesch. Bauteil	Alle	Alle

### 3.4 Anforderungen an den Korrosionsschutz

Die Anforderungen an den Korrosionsschutz gemäß DIN EN 1995-1-1 und DIN SPEC 1052-100 sind grundsätzlich zu erfüllen. Für die Planung des Korrosionsschutzes wird die nachfolgende Vorgehensweise empfohlen. Entsprechend der Korrosionsbelastung in Form der C- und T- Klassen nach Tabelle 5 und Tabelle 6 sind die notwendigen Mindestanforderung an den Korrosionsschutz gemäß Tabelle 7 und Tabelle 8 zu ermitteln. Die jeweils höhere Mindestanforderung ist maßgebend.

Die Auswahl der Korrosionsschutzmaßnahme ist auf den jeweiligen Anwendungsfall abzustimmen (z. B. Zinkschichtdicken für Verbindungsmittel i.d.R. 50 bis 80 µm; Verfügbarkeit nicht-rostender Stahlsorten).

Bimetallkorrosion ist für alle verwendeten metallenen Bauteile und Verbindungsmittel zu vermeiden.

Tabelle 7: Mindestanforderung an den Korrosionsschutz infolge der Korrosivitätskategorien (C-Klassen) in Anlehnung an Tabelle 2 aus E DIN EN 14592:2017

Korrosionsschutz	C1	C2	C3	C4	C5
Organische Beschichtung <sup>a</sup>	-	Auswahl geeignetes Beschichtungssystem aus ZTV-ING, Teil 4, Abschnitt 3, Anhang A, Tabelle A 4.3.2: Beschichtungssysteme			
Mindestschichtdicke von Zink auf Kohlenstoffstahl <sup>b</sup>	Erscheinungsbild kann sich ohne Schutzbeschichtung verändern	20 µm	55 µm	110 µm	-
Klasse nichtrostender Stähle <sup>c</sup>	-	≥ CRC II	≥ CRC II	≥ CRC III	≥ CRC IV

<sup>a</sup> geeignete Beschichtungen im Sinne der ZTV-ING sind nur für Stahlbauelemente und Stahlteile einsetzbar; Schutzdauer beträgt ca. 25 Jahre bis zur ersten Teilerneuerung und ca. 45 Jahren bis zur ersten Vollerneuerung (je nach Standortbedingungen und Ausführungsqualität kann eine frühere Ausbesserung von Schadstellen erforderlich sein) [RI-ERH-KOR]

<sup>b</sup> Schutzdauer beträgt 50 Jahre gemäß E DIN EN 14592

<sup>c</sup> Schutzdauer nicht begrenzt, sofern eine den Einwirkungen angepasste Stahlsorte verwendet wird; falls keine Reinigung oder Bewitterung des Stahls erfolgt, ist eine höhere Korrosionsbeständigkeitsklasse (CRC) gemäß DIN EN 1993-1-4 anzunehmen

Tabelle 8: Mindestanforderung an den Korrosionsschutz infolge der Holzkorrosivitätsklassen (T-Klassen) in Anlehnung an Tabelle 1 aus E DIN EN 14592:2017

Korrosionsschutz	T1	T2	T3	T4	T5
Organische Beschichtung <sup>a</sup>	-	Auswahl geeignetes Beschichtungssystem aus ZTV-ING, Teil 4, Abschnitt 3, Anhang A, Tabelle A 4.3.2: Beschichtungssysteme			
Mindestschichtdicke von Zink auf Kohlenstoffstahl <sup>b</sup>	Erscheinungsbild kann sich ohne Schutzbeschichtung verändern	10 µm	20 µm	55 µm	nicht anzuwenden für Haupttrag-elemente
Klasse nichtrostender Stähle <sup>c</sup>	-	-	CRC II	CRC II/ CRC III <sup>d</sup>	CRC III

<sup>a</sup> Beschichtungen im Sinne der ZTV-ING sind i.d.R. nur für Stahlbauelemente und ggf. Stahlteile geeignet; Schutzdauer ist nicht verifiziert

<sup>b</sup> Schutzdauer beträgt gemäß E DIN EN 14592 50 Jahre

<sup>c</sup> Schutzdauer nicht begrenzt, sofern eine den Einwirkungen angepasste Stahlsorte verwendet wird; nichtrostende Stahlsorte der angegebenen Korrosionsbeständigkeitsklasse (CRC) gemäß DIN EN 1993-1-4

<sup>d</sup> abhängig von der Art der Schutzmittelbehandlung (z.B. CRC III bei chloridhaltigem Schutzmittel)

## 4 Holz-Beton-Verbund

### 4.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt regelt die Anwendung des Holz-Beton-Verbundbaus im Ingenieurbau.

### 4.2 Holz

Für die Holzbauteile einer Holz-Beton-Verbundkonstruktion sind neben dem vorliegenden Dokument DIN EN 1995-1-1 (einschließlich A2) mit DIN EN 1995-1-1/NA sowie DIN EN 1995-2 mit DIN EN 1995-2/NA anzuwenden.

### 4.3 Beton

Für die Massivbauteile einer Holz-Beton-Verbundkonstruktion sind DIN EN 1992-1-1, DIN EN 1992-1-1/NA (jeweils einschließlich A1), DIN EN 1992-2, DIN EN 1992-2/NA und ZTV-ING Teil 3 Massivbau Abschnitt 1 Beton und Abschnitt 2 Bauausführung anzuwenden.

Als Mindestbetonfestigkeitsklasse ist C30/37 anzuwenden [ZTV-ING].

### 4.4 Verbindungsmittel

Verbindungsmittel müssen eine hohe Tragfähigkeit und Steifigkeit aufweisen. Im Traglastfall sollten sie duktil reagieren. Die alleinige Anordnung stiftförmiger Verbindungsmittel (Schrauben, Bolzen etc.) zur Schubkraftübertragung in der Verbundfuge von Holz-Beton-Verbundbrücken ist nicht gestattet.

Verbundelemente, bei denen die Kraftübertragung auf Formschluss beruht, sind im Holz-Beton-Verbundbrückenbau für die Herstellung des Schubverbundes besonders geeignet. Zu diesen Verbundelementen zählen:

- Dübelleiste (mit und ohne Verguss der Fuge zwischen Stahlplatte und Holz)
- Kerfen mit Schrauben oder eingeklebten Stahlstangen zur Zugkraftaufnahme senkrecht zur Fuge

Für diese Verbindungsmittel sollten zusätzlich stiftförmige Verbindungsmittel zur Verstärkung im Vorholzbereich der Verbindung und zur Erhöhung der Duktilität angeordnet werden.

Außerdem für den Holz-Beton-Verbundbrückenbau geeignet sind:

- Eingeklebte Streckmetallstreifen
- Schräg eingeklebte Gewindestangen oder Bewehrungsstähle (X-Verbinder) in Verbindung mit Kerfen
- weitere Schubverbinder mit Eignungsnachweis für nicht vorwiegend ruhende Beanspruchung entsprechend einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) oder Europäisch Technischen Bewertung (ETA)

### 4.5 Verbundbauweisen

Bei dem Verbund zwischen der Betonplatte und den Hauptträgern aus Holz wird unterschieden zwischen

- nachgiebigem Verbund,
- starrem Verbund durch Klebung und
- keinem Verbund.

Im Längsschnitt stark gekrümmte Tragwerke (Bogenbrücken) dürfen nicht als Holz-Beton-Verbundbrücken ausgeführt werden. Die gegenseitige Verschiebung der Teilquerschnitte ist durch geeignete Verbindungsmittel zwangungsfrei zu ermöglichen.

### 4.6 Hinweise für Entwurf und Konstruktion

Holz sollte beim Betoniervorgang vor Feuchtigkeitseintrag durch den Frischbeton geschützt werden. Dies gilt im Besonderen für die Hirnholzseiten im Einschnitt der Kerfen.

Die Betonplatte ist so auszubilden, dass sie für die darunter angeordneten hölzernen Hauptträger einen konstruktiven Schutz bietet. Die Holzbauteile sind so auszuführen, dass sie der Nutzungsklasse 2 zugeordnet werden können.

Das Schwinden des Betons, das Schwinden und Quellen des Holzes sowie Temperaturdehnungen sind beim Entwurf und bei der Berechnung von Holz-Beton-Verbundbrücken zu berücksichtigen. Folgende Werte werden empfohlen:

- Varianz der Holzfeuchte 6 M% innerhalb des Wertebereiches von 13 – 20 M%
- Varianz der Bauteiltemperaturen -16 bis 39°C (Es ist Typ 3 –Betonkonstruktionen gemäß DIN EN 1991-1-5 mit DIN EN 1991-1-5/NA anzuwenden.)

Das unterschiedliche Kriechen von Beton und Holz sowie das Kriechen der Verbundelemente und die daraus resultierenden Spannungsumlagerungen sind zu berücksichtigen. Die Nachweise sind mindestens zu den Zeitpunkten  $t = 0$  und  $t = \infty$  zu führen.

Schwinden und Kriechen des Betons sind nach DIN EN 1992-1-1 Anhang B zu berechnen.

Bei den Nachweisen der Verbundkonstruktion sind Bauzustände und Belastungshistorie zu berücksichtigen.

Der Temperaturkoeffizient für Holz ist nach DIN EN 1991-1-5 Anhang C wie folgt anzunehmen:

- in Faserrichtung:  $\alpha_T = 5 \cdot 10^{-6} \cdot K^{-1}$
- quer zur Faser:  $\alpha_T = 30 \cdot 10^{-6} \cdot K^{-1}$  bis  $70 \cdot 10^{-6} \cdot K^{-1}$  (abhängig von der Holzart)

## 5 Grünbrücken

### 5.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt regelt Ingenieurbauwerke in Holzbauweise, welche als Querungshilfen für Wildtiere im Bereich zerschnittener Naturräume dienen.

Die folgenden Regelwerke sind zu beachten:

- Richtlinien für den Entwurf, die konstruktive Ausbildung und Ausstattung von Ingenieurbauten [RE-ING]
- Merkblatt zur Anlage von Querungshilfen für Tiere und zur Vernetzung von Lebensräumen an Straßen [M AQ]

Hinweise zum Entwurf und zur Bauausführung sind auch der „Nachhaltigkeitsstudie für Grünbrücken in Holzbauweise – Erfahrungen und Perspektiven“ zu entnehmen [DEGES].

### 5.2 Abdichtung zum Erdreich

Die Abdichtung zum Erdreich sollte für nicht gekrümmte Bauwerke gemäß RE-ING, Teil 2, Abschnitt 2, 4 Grünbrücken (8) erfolgen:

- bei Bedarf flächiges Feuchtemonitoring mit Abdeckung aus Geotextil als Schutzlage
- Abdichtung mit 1-lagiger Bitumenschweißbahn nach ZTV-ING 7-1
- V13 als Schutzlage
- bewehrter Schutzbeton ( $\geq C 12/15$ ), Mindestdicke 10 cm
- Durchwurzelungsschutzschicht (i. d. R. Schutzfolie)
- Filtermaterial (mindestens 10 cm dick, Körnung 16/32)
- Geotextil/ Filterfließ
- Überschüttung

Die Abdichtung und der Schutzbeton sind mindestens 20 cm über die Arbeitsfuge Decke/Wand zu führen.

Für die Abdichtung gekrümmter Bauwerke zum Erdreich wird in Anlehnung an RE-ING, Teil 2, Abschnitt 2, 4 Grünbrücken (9) der folgende Aufbau empfohlen:

- Abdichtung mit 1-lagiger Bitumenschweißbahn nach ZTV-ING 7-1 (Befestigung auf dem Untergrund mittels Haftanstrich oder genagelter Bitumenbahn)

- Geotextil (mit Funktionen: Schutz und Dränen)
- bei Bedarf flächiges Feuchtemonitoring mit Abdeckung aus Geotextil als Schutzlage
- Abdichtung mit Kunststoffdichtungsbahn nach TL/TP KDB und Ausführung nach ZTV-ING 5-5
- Gleitfolie
- Geotextil (mit Funktionen: Schutz und Dränen)
- Schutzschicht aus Filtersteinen oder Schutzbeton (10 cm, bewehrt, PE-Folie unterlegen)
- Geotextil (mit Funktion: Filtern)
- grobkörniger Boden nach [ZTV E StB 17] Abs. 10.2.4. 1
- Erdüberdeckung ist nach Art der Begrünung festzulegen

### 5.3 Holzschutz

Die Unterseite der Konstruktion oberhalb der Fahrbahn sollte so geplant werden, dass Wasser aus Sprühnebel oder Kondensation schnell abgeführt und eine Feuchteanreicherung vermieden wird. Folgende Maßnahmen sind dafür geeignet:

- gehobelte Holzoberflächen
- diffusionsoffene Beschichtungen
- Vermeidung horizontaler Flächen
- Fugen und Spalten zwischen den Bauteilen sind möglichst zu vermeiden oder so auszubilden, dass eine Belüftung erfolgt.

### 5.4 Korrosionsschutz

Für metallene Verbindungsmittel, die dem Sprühnebel ausgesetzt sind, muss eine geeignete Stahlsorte mindestens der Korrosionsbeständigkeitsklasse CRC IV gewählt werden.

## 6 Bauausführung

### 6.1 Allgemeines

Es dürfen nur Materialien eingesetzt werden, die in einer Produktnorm, abZ oder ETA geregelt sind. Alternativ ist der Eignungsnachweis durch eine ZiE zu erbringen.

Es sind ausschließlich erfahrene und qualifizierte Fachbetriebe zur Herstellung, zum Transport, zur Lagerung und Montage von Bauprodukten und Bauteilen für Ingenieurbauwerke in Holzbauweise zu beauftragen, welche die erforderlichen Voraussetzungen (z.B. Maßnahmen zur Qualitätssicherung und entsprechend ausgebildetes und geschultes Personal) und Einrichtungen (z.B. bauliche und technische Ausstattung) vorweisen können.

Eine unzuträgliche Erhöhung der Holzfeuchte während Herstellung, Transport, Lagerung und Montage von Holzbauprodukten und Holzbauteilen für Ingenieurbauwerke in Holzbauweise ist unzulässig. Holzbauteile sind während der Bauausführung grundsätzlich vor Feuchteeinwirkung (Niederschlag, Sprühnebel, Schneesmelze und Tauwasser) zu schützen [Holzleimbau 2].



## 6.2 Herstellung der Bauteile

Vor der Herstellung von Bauteilen für Ingenieurbauwerke in Holzbauweise ist die zugehörige Ausführungsplanung unter Beachtung der Nachweise zum Sicherheits- und Gesundheitsschutz und Allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassungen zu erstellen. Der Auftraggeber hat Ausführungs- und Werkstattzeichnungen schriftlich freizugeben.

Die vom Auftraggeber übergebenen Unterlagen sind auf Vollständigkeit und Plausibilität zu überprüfen.

Holzbauteile sind vor der Auslieferung mit geeigneten temporären Witterungsschutzanstrichen zu versehen oder in Folie zu verpacken [Holzleimbau 2].

## 6.3 Transport und Lagerung

Folgende Maßnahmen sind während Transport und Lagerung von Holzbauteilen zu beachten (vgl. [Holzleimbau 2] und [Holzleimbau 3]):

- Bauprodukte und Bauteile sind stets gegen Kippen zu sichern.
- Bei Hebevorgängen ist der gesamte Querschnitt mit Schwerlastbändern oder anderem geeigneten Gerät zu fassen. Auf einen ausreichenden Kantenschutz ist zu achten.
- Die Bauteile sind auf Unterleghölzern oder Ähnlichem mit mindestens 10 cm Abstand zum Boden zu lagern. Eine ausreichende Belüftung ist sicherzustellen.
- Im Freien lagernde Bauteile sind durch Abdeckungen vor Niederschlag zu schützen. Es ist sicherzustellen, dass Spritzwasser und Schmutz nicht an die Bauteile gelangen kann (z.B. durch Unterlegen einer Folie).
- Die Verschmutzung von Bauteilen, etwa durch Begehen, unsachgemäße Lagerung oder Schweißen und Schneiden von Stahlteilen im Bereich der Holzbauteile, ist zu vermeiden. Entstandene Verschmutzungen sind durch den Verursacher zeitnah zu entfernen, jedoch spätestens bis zur Abnahme des Bauwerks.

## 6.4 Wareneingang im Werk bzw. auf der Baustelle, Lieferung von Holzbauteilen

### 6.4.1 Hinweise zur Wareneingangskontrolle

Bauprodukte und Holzbauteile für Ingenieurbauwerke in Holzbauweise sind bei Anlieferung im Werk bzw. auf der Baustelle einer Wareneingangskontrolle zu unterziehen. Dabei ist Folgendes zu beachten:

- Prüfung der Übereinstimmung zwischen Bestellung und Lieferung
- Prüfung der korrekten CE-Kennzeichnung
- Prüfung der Begleitdokumente (gemäß 6.4.2)
- Prüfung der zulässigen Maßtoleranzen (gemäß 6.4.3)
- Prüfung der zulässigen Holzfeuchtetoleranzen (gemäß 6.4.4)
- Prüfung der zulässigen Rissigkeit (gemäß 6.4.5)
- Prüfung der Lieferung auf augenscheinliche Beschädigungen
- zügige Entfernung von Transportverpackungen und Folien [Holzleimbau 3]
- Verwendbarkeitsnachweise sind vom Auftragnehmer in digitaler Form zusammenzustellen und aufzubewahren, sofern nicht anders vereinbart wird.

Sollten Abweichungen zwischen Bestellung und Lieferung, Beschädigungen, fehlende Dokumente oder Ähnliches festgestellt werden, ist ein Vermerk auf dem Lieferschein vorzunehmen und vom Lieferanten gegenzuzeichnen.

## 6.4.2 Prüfung der Begleitdokumente

Bei Anlieferung sind die Begleitdokumente auf Richtigkeit zu überprüfen, mindestens in Bezug auf:

- Holzart,
- Sortierklasse,
- Festigkeitsklasse,
- Produktbezeichnung,
- Art des Klebstoffs,
- Oberflächenbeschaffenheit,
- Bescheinigung für chemisch behandelte Hölzer,
- Bescheinigung für vorbeugend chemisch geschützte Holz- und Holzwerkstoffprodukte nach DIN EN 15228,
- Bescheinigung für beschichtete Hölzer und Holzwerkstoffe,
- Art des Korrosionsschutzes mit zugehörigem Formblatt B 4.3.1 „Prüfprotokoll für den Korrosionsschutz Allgemeine Angaben“ aus ZTV-ING - Teil 4 - Abschnitt 3 - Anhang B.

## 6.4.3 Zulässig Maßtoleranzen und deren Kontrolle

Bei Anlieferung ist festzustellen, ob die gelieferten Bauteile die bestellten Abmessungen aufweisen. Grenzabweichungen für einzelne Bauteile sind gemäß DIN EN 336 und DIN EN 14080 einzuhalten.

Sägeraues Vollholz hat den Anforderungen an Maßtoleranzklasse 1 gemäß DIN EN 336 zu entsprechen; gehobeltes/egalisiertes Vollholz, Holzwerkstoffe und zusammengesetzte Bauteile haben den Anforderungen an Maßtoleranzklasse 2 gemäß DIN EN 336 zu entsprechen. Die Grenzwerte sind Tabelle 9 und Tabelle 10 zu entnehmen.

Tabelle 9: Werte der Maßtoleranzklasse 1 gemäß Tabelle 1 aus DIN EN 336:2013

Für Dicken und Breiten ≤ 100 mm	(-1 bis +3) mm
Für Dicken und Breiten > 100 mm und ≤ 300 mm	(-2 bis +4) mm
Für Dicken und Breiten > 300 mm	(-3 bis +5) mm

Tabelle 10: Werte der Maßtoleranzklasse 2 gemäß Tabelle 2 aus DIN EN 336:2013

Für Dicken und Breiten ≤ 100 mm	(-1 bis +1) mm
Für Dicken und Breiten > 100 mm und ≤ 300 mm	(-1,5 bis +1,5) mm
Für Dicken und Breiten > 300 mm	(-2 bis +2) mm

Bauteile aus Brettschichtholz und Balkenschichtholz haben den Anforderungen an DIN EN 14080 zu entsprechen. Die Grenzwerte sind Tabelle 11 zu entnehmen.

Zur Überprüfung der angegebenen Grenzabweichungen sind Kontrollmessungen an 5 % der Einzelhölzer, mindestens jedoch an einem Holz jeder Querschnittsabmessung durchzuführen. Die Ergebnisse sind zu protokollieren und dem Auftraggeber zu übergeben.

Tabelle 11: Maximal zulässige Abweichungen von den Nennmaßen für Brettschichtholz in Anlehnung an Tabelle 12 gemäß DIN EN 14080:2013

Nennmaße für		Maximal zulässige Abweichungen	
		Gerade Bauteile	Gekrümmte Bauteile
Querschnittsbreite	für alle Breiten	± 2 mm	
Querschnittshöhe	h < 400 mm	+ 4 mm bis - 2 mm	
	h > 400 mm	+ 1 % bis - 0,5 %	
Maximale Abweichung der Winkel des Querschnitts vom rechten Winkel		1:50	
Länge eines gerades Bauteils bzw. abgewinkelte Länge eines gekrümmten Bauteils	l ≤ 2 m	± 2 mm	
	2 m ≤ l ≤ 20 m	± 0,1 %	
	l > 20 m	± 20 mm	
Längskrümmung, gemessen als maximal zulässiger Stich über eine Länge von 2 000 mm, ohne Berücksichtigung einer Überhöhung		4 mm	–
Stich je m abgewinkelte Länge	≤ 6 Lamellen	–	± 4 mm
	> 6 Lamellen	–	± 2 mm

#### 6.4.4 Kontrolle der Holzfeuchte, Grenzwerte

Die Holzfeuchte der Holzbauprodukte und Holzbauteile darf 20 M% bei Wareneingang nicht überschreiten. Bei Anlieferung von Bauteilen großen Querschnitts (Breite > 20 cm und Höhe > 60 cm) ist jedes Bauteil zu überprüfen. Bei kleineren Holzbauprodukten und Holzbauteilen ist die Holzfeuchte an 5 % aller Einzelhölzer einer Lagereinheit (Stapel, Palette etc.), mindestens jedoch an zwei Hölzern jeder Querschnittsabmessung zu überprüfen. Die Ergebnisse sind zu protokollieren und dem Auftraggeber zu übergeben.

Zur Holzfeuchtemessung eignen sich die Verfahren der elektrischen Widerstandsmessung nach DIN EN 13183-2 und der kapazitiven Messung nach DIN EN 13183-3. Die Angaben des Geräteherstellers sind zu beachten. Holzfeuchtemessungen dürfen nicht im Bereich von Ästen, Rinden, Harzgallen, Rissen, Klebefugen u. Ä. durchgeführt werden, da diese Inhomogenitäten die Messergebnisse beeinflussen. Auch Holzschutzmittel, Flammschutzmittel u. Ä. beeinflussen die Genauigkeit der Messergebnisse. Messungen nach dem elektrischen Widerstandsmessverfahren sollen etwa in einem Drittel der Querschnittstiefe erfolgen bzw. in ca. 40 mm Tiefe bei größeren Querschnitten [RI-EBW-PRÜF]. Die am Schaft isolierten Elektroden dürfen nicht vollständig eingeschlagen werden, um eine Fehlmessung an der Bauteiloberfläche auszuschließen.

Holzarten wie Eiche und Bongossi trocknen sehr langsam und können deswegen praktisch nicht in trockenem Zustand eingekauft werden. In diesen Fällen muss zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer individuell vereinbart werden, mit welcher maximal zulässigen Feuchte das Holz eingebaut werden soll. Der Auftraggeber ist auf diesen Sachverhalt hinzuweisen, sofern entsprechende Holzarten ausgeschrieben wurden. In Planung und Ausführung ist das stärkere Schwindverhalten dieser Bauteile besonders zu berücksichtigen.

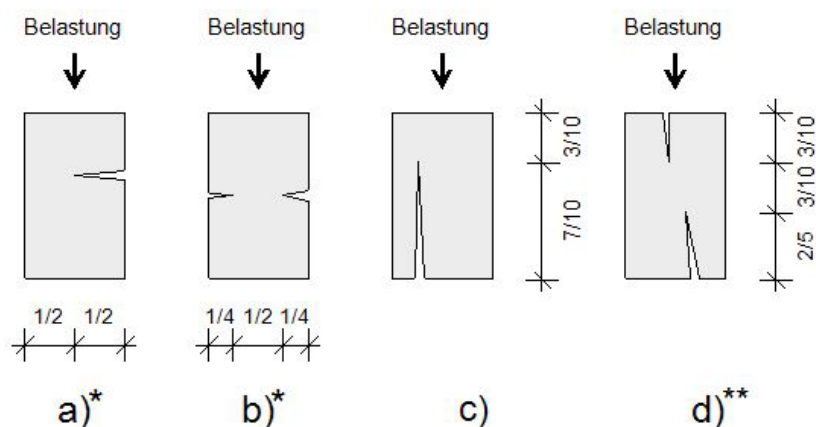
#### 6.4.5 Zulässige Risse und deren Kontrolle

Risse im Holz können die Optik beeinträchtigen, aber auch Auswirkungen auf Tragfähigkeit, Dauerhaftigkeit und Verkehrssicherheit haben. Infolge der Variabilität des Außenklimas verändert sich die Holzfeuchte aufgrund der hygroskopischen Eigenschaften des Holzes. Dies führt zu Spannungsdifferenzen zwischen Querschnittsinnerem und Bauteiloberfläche. Durch

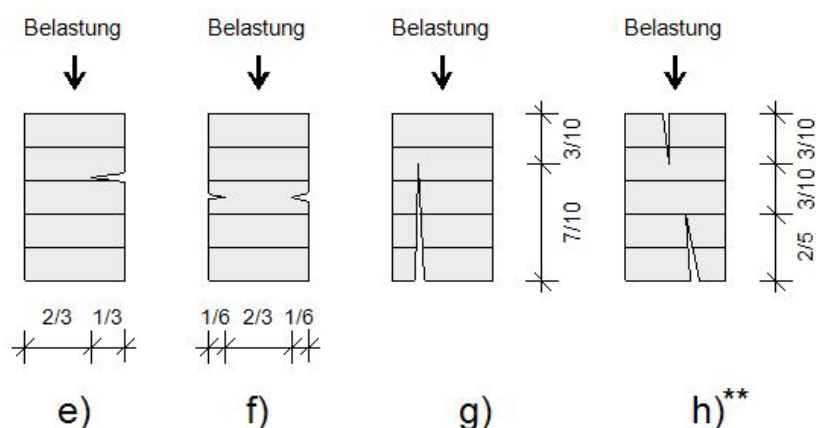
schnelles Trocknen entstehen sichtbare Schwindrisse an der Bauteiloberfläche; durch schnelles Aufweichen können Risse verdeckt im Inneren entstehen. Derartige Schwindrisse sind auch bei tragenden Bauteilen bis zu den nachstehend genannten Grenzwerten zu akzeptieren. Ungeschützte, horizontal liegende Bauteile dürfen beim Einbau keine Risse auf der Oberseite aufweisen.

Horizontale Längsrisse bis zu einer Gesamtristiefe von  $1/2$  der Querschnittsbreite (oder je  $1/4$  auf beiden Seiten des Querschnitts) sind nach DIN 4074-1 für Vollholz zulässig (siehe Abbildung 3 a und b); für die Sortierklassen S 13 und S 13K ist eine Gesamtristiefe von  $2/5$  der Querschnittsbreite (oder je  $1/5$  auf beiden Seiten des Querschnitts) zulässig. Horizontale Längsrisse bis zu einer Gesamtristiefe von  $1/3$  der Querschnittsbreite (oder je  $1/6$  auf beiden Seiten des Querschnitts) sind für Brettschichtholz und Balkenschichtholz zulässig (siehe Abbildung 3 e und f) [Holzleimbau 2]. Vertikale Längsrisse bis zu einer Gesamtristiefe von  $7/10$  der Querschnittshöhe sind zulässig (siehe Abbildung 3 c, d, g und h), sofern es sich um planmäßig vertikal beanspruchte Bauteile handelt [Frech 1987]. Bei einseitiger Rissausbildung ist zu gewährleisten, dass auf der gegenüberliegenden Seite tatsächlich keine Risse vorhanden sind, die eine Tiefe von ca. 5 mm überschreiten [Aicher 2018].

Vollholz:



Brettschichtholz/Balkenschichtholz:



\* Für Sortierklasse S13 gilt abweichend  $2/5$  einseitig, bzw.  $1/5$  beidseitig.  
 \*\* Oberseitige Risse sind für ungeschützte Bauteile nicht zulässig.

Abbildung 3: Zulässige Risstiefen für Vollholz, Brettschichtholz und Balkenschichtholz (a, b, e, f: Riss orthogonal zur Belastungsrichtung; c, d, g, h: Riss in Belastungsrichtung)

Schwindrisse in auf Querzug beanspruchten Bereichen eines Bauteils sind höchstens bis zu einer Ristiefe von  $1/8$  der Querschnittsbreite zulässig, wenn diese beidseitig auftreten, bzw. bis zu einem  $1/4$  der Querschnittsbreite, wenn diese einseitig auftreten [Aicher 2018]. Querzugbeanspruchte Bereiche sind gemäß DIN EN 1995-2/NA stets zu verstärken.

Delaminierungen können in geklebten Holzwerkstoffen (z.B. Brettschichtholz) aufgrund einer fehlerhaften Verklebung oder einer falschen Klebstoffauswahl auftreten. Es erfolgt eine Auflösung des Klebeverbundes, welche im Rissbild dadurch gekennzeichnet ist, dass keine oder nur wenige Holzfasern auf der Bruchfläche erkennbar sind [Müller und Franke 2015]. Delaminierungen sind grundsätzlich nicht zulässig.

Bei Anlieferung sind Holzbauprodukte und Holzbauteile auf Risse zu untersuchen. Besteht der Verdacht, dass die zulässigen Grenzwerte überschritten werden, sind die Risse an diesen Holzelementen zu vermessen. Die Messung erfolgt in Anlehnung an DIN 4074-1 in den Viertelpunkten des Risses mit einer 0,1 mm dicken Fühlerlehre. Die Risstiefe ergibt sich aus dem arithmetischen Mittel der drei Messungen. Die oben genannten Grenzwerte sind einzuhalten.

## 6.5 Montage

Die Montage von Holzbauteilen soll durch erfahrene und qualifizierte Fachbetriebe erfolgen [Holzleimbau 2].

Es ist eine ausreichende Aussteifung im Bauzustand herzustellen [Holzleimbau 2].

Holzbauteile sind im Bereich von Schweiß- oder Schneidarbeiten an Stahlbauteilen abzudecken [Holzleimbau 2].

Vor der Montage von Holzbauteilen sind die Unterbauten durch den Auftragnehmer aufzumessen und mit den vorgegebenen Werten abzugleichen. Die Ergebnisse sind zu protokollieren und dem Auftraggeber zu übergeben.

Nach der Montage sind die eingebauten Holzbauteile einzumessen und mit den vorgegebenen Werten abzugleichen. Die Ergebnisse sind zu protokollieren und dem Auftraggeber zu übergeben.

Gemäß DIN 18334 darf die Einbaufeuchte aller Holzbauteile 20 M% nicht überschreiten. Es wird empfohlen, Holzbauteile mit der im Gebrauchszustand zu erwartenden Ausgleichsfeuchte einzubauen. Für geschützte Bauteile aus Fichtenholz beträgt die zu erwartende Ausgleichsfeuchte etwa 16 bis 18 M%. Sofern bei Wareneingang eine Holzfeuchte von weniger als 20 M% festgestellt wurde, die Bauteile auf der Baustelle korrekt gelagert wurden und innerhalb von drei Tagen eingebaut werden, ist eine erneute Kontrolle der Holzfeuchte vor dem Einbau nicht erforderlich. Anderenfalls ist eine zusätzliche Kontrolle der Holzfeuchte nach Abschnitt 6.4.4 durchzuführen.

## 6.6 Holzschutz

Die Ausführung von chemischen Holzschutzmaßnahmen an tragenden Bauteilen ist nur durch Fachbetriebe und qualifizierte Fachleute zulässig. Nach DIN 68800-1 sind Fachbetriebe Betriebe, die aufgrund ihrer Fachkenntnisse, organisatorischen, personellen und gerätetechnischen Ausstattung in der Lage sind, Holzschutzmaßnahmen selbstständig auszuführen. Qualifizierte Fachleute sind diejenigen, die eine entsprechende Ausbildung absolviert haben und über die entsprechende Ausrüstung verfügen.

Es sind ausschließlich Holzschutzmittel zu verwenden, die von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin zugelassen sind. Das erforderliche Prüfprädiat (Iv, P, W, E und B) ist auf den vorgesehenen Einsatz abzustimmen.

Gemäß DIN 68800-3 müssen sämtliche Bearbeitungsvorgänge am Bauteil (Hobeln, Fräßen, Bohren, Ausklinken, Ablängen etc.) vor der Durchführung der Schutzbehandlung abgeschlossen sein. Sollte eine Nachbearbeitung nach der Schutzbehandlung unvermeidbar sein, so ist eine Nachbehandlung mit geeignetem Schutzmittel an den bearbeiteten Flächen erforderlich.

Die Fixierung des Holzschutzmittels muss vor der Lieferung der Bauteile abgeschlossen sein [SvfS Berlin].

Die Begleitdokumente zu chemisch geschütztem Holz müssen eine Bescheinigung beinhalten, die in Anlehnung an DIN 68800-3 folgende Angaben enthält [Marutzky 2013]:

- Bezug auf DIN 68800-3,
- Name und Anschrift des ausführenden Betriebes (ggf. verschlüsselt); Datum; Unterschrift,
- Angabe, ob die Erfüllung der Anforderungen an tragende oder nicht tragende Bauteile erfolgte,
- berücksichtigte Gebrauchsklasse (Schutzziel),
- Angewendetes Holzschutzmittel (Art und Hersteller) mit Verwendbarkeitsnachweis,
- Chargen-Nr.,
- Art des Einbringverfahrens,
- Lösungsmittelkonzentration,
- Eindringtiefenklasse entsprechend NP1 bis NP6,
- Erzielte Einbring- bzw. Aufbringmenge,
- Angabe, ob Trockenrisse nachzubehandeln sind,
- Jahr der Behandlung.

Bei einer Nachbehandlung oder einer Erneuerung des Holzschutzes durch chemische Holzschutzmittel am Einbauort ist dafür Sorge zu tragen, dass kein Schutzmittel in Boden oder Gewässer eingetragen wird. Abtropfende oder ablaufende Schutzmittel sind aufzufangen. Es sind geeignete Maßnahmen zu ergreifen, die eine Kontamination der Umwelt mit Holzschutzmitteln wirksam verhindern [SvfS Berlin].

## **6.7 Beschichtung von Hölzern und Holzwerkstoffen**

In Begleitdokumenten sind die Art und der Hersteller des Beschichtungsmittels, der Aufbau des Beschichtungssystems und der Name und Ort des ausführenden Betriebes zu vermerken. Die Eignung des Beschichtungssystems für den Einsatz im Außenbereich muss vom Hersteller nachgewiesen werden.

Beschichtungsmittel sollen bereits vor der Anlieferung auf die Bauteile aufgebracht werden. Sollte das Aufbringen einer Schlussbeschichtung, Erneuerung oder Ausbesserung auf der Baustelle erforderlich sein, dann ist auf den Schutz der Umwelt zu achten. Es ist Sorge dafür zu tragen, dass kein Beschichtungsmittel in Boden oder Gewässer eingetragen wird. Abtropfende oder ablaufende Beschichtungsmittel sind aufzufangen. Es sind geeignete Maßnahmen zu ergreifen, die eine Kontamination der Umwelt mit Beschichtungsmittel wirksam verhindern [SvfS Berlin].

## **6.8 Stahlbau und Korrosionsschutz**

Für die Ausführung von Stahlbauteilen gilt die Normenreihe DIN EN 1090.

Für die Ausführung von Korrosionsschutzmaßnahmen gilt ZTV-ING - Teil 4 Stahlbau, Stahlverbundbau - Abschnitt 3 Korrosionsschutz von Stahlbauten.

## **7 Ergänzungen zur ZTV-ING (Stand 10/2018)**

### **7.1 Ergänzung zu Teil 1, Abschnitt 2, 2.4: Ausführungszeichnungen**

Auf den Ausführungszeichnungen für Holzbrücken sind zusätzlich folgende Angaben erforderlich:

- Detailangaben zu Holzarten, konstruktivem und chemischem Holzschutz sowie Beschichtungen,
- Vorgabe der Einbauholzfeuchte,
- Angaben zu Stahlsorten und Korrosionsschutz-Beschichtungssystemen.

Für Holzbrücken sind Werkstattpläne für den Holzüberbau einschließlich der zugehörigen Holzstücklisten zu liefern.

### **7.2 Ergänzung zu Teil 1, Abschnitt 2, 4: Bestandsunterlagen**

Für die Bestandsunterlagen wird die Erstellung eines Wartungshandbuches für jede Brücke und die Erstellung eines Prüfhandbuches für besondere Holzbrücken in Ergänzung zum Bauwerksbuch empfohlen. Als besondere Holzbrücken gelten z. B. Grünbrücken sowie Fachwerk- oder Schrägseilbrücken mit großen Stützweiten. Entsprechende Musterhandbücher sind unter [www.holzbrueckenbau.com](http://www.holzbrueckenbau.com) verfügbar.

Auf den Bestandsübersichtszeichnungen für Holzbrücken sind zusätzlich folgende Angaben erforderlich:

- Detailangaben zu Holzarten, konstruktivem und chemischem Holzschutz sowie Beschichtungen,
- Angabe der Einbauholzfeuchte,
- Angaben zu Stahlsorten und Korrosionsschutzmaßnahmen.

Sämtliche Produktangaben sind im Bauwerksbuch zu hinterlegen.

## 8 Literatur

### 8.1 Normen

DIN 1052-10:2012-05: Herstellung und Ausführung von Holzbauwerken - Teil 10: Ergänzende Bestimmungen.

DIN 4074-1:2012-06: Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit - Teil 1: Nadelschnittholz.

DIN 4074-5:2008-12: Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit - Teil 5: Laubschnittholz.

DIN 18203-3:2008-08: Toleranzen im Hochbau - Teil 3: Bauteile aus Holz und Holzwerkstoffen.

DIN 18334:2016-09: VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Zimmer- und Holzbauarbeiten.

DIN 18363:2016-09: VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Maler- und Lackierarbeiten – Beschichtungen.

DIN 20000-1:2017-06: Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken - Teil 1: Holzwerkstoffe.

DIN 20000-3:2015-02: Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken - Teil 3: Brettschichtholz und Balkenschichtholz nach DIN EN 14080.

DIN 20000-5: 2016-06: Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken - Teil 5: Nach Festigkeit sortiertes Bauholz für tragende Zwecke mit rechteckigem Querschnitt.

DIN 20000-6:2015-02: Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken - Teil 6: Stifförmige und nicht stifförmige Verbindungsmittel nach DIN EN 14592 und DIN EN 14545.

DIN 20000-7:2015-08: Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken - Teil 7: Keilgezinktes Vollholz für tragende Zwecke nach DIN EN 15497.

DIN 68800-1:2011-10: Holzschutz - Teil 1: Allgemeines.

DIN 68800-2:2012-02: Holzschutz - Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau.

DIN 68800-3:2012-02: Holzschutz - Teil 3: Vorbeugender Schutz von Holz mit Holzschutzmitteln.

DIN EN 204:2016-11: Klassifizierung von thermoplastischen Holzklebstoffen für nichttragende Anwendungen; Deutsche Fassung EN 204:2016.

DIN EN 301:2018-01: Klebstoffe, Phenoplaste und Aminoplaste, für tragende Holzbauteile - Klassifizierung und Leistungsanforderungen; Deutsche Fassung EN 301:2017.

DIN EN 336:2013-12: Bauholz für tragende Zwecke – Maße, zulässige Abweichungen; Deutsche Fassung EN 336:2013.

DIN EN 350:2016-12: Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Prüfung und Klassifizierung der Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten gegen biologischen Angriff; Deutsche Fassung EN 350:2016.

DIN EN 636:2015-05: Sperrholz - Anforderungen; Deutsche Fassung EN 636:2012+A1:2015.

DIN EN 927-1:2013-05: Beschichtungsstoffe - Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für Holz im Außenbereich - Teil 1: Einteilung und Auswahl; Deutsche Fassung EN 927-1:2013.

DIN EN 927-2:2014-11: Beschichtungsstoffe - Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für Holz im Außenbereich - Teil 2: Leistungsanforderungen; Deutsche Fassung EN 927-2:2014.



DIN EN 942:2007-06: Holz in Tischlerarbeiten - Allgemeine Anforderungen; Deutsche Fassung EN 942:2007.

DIN EN 1090-1:2012-02: Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken - Teil 1: Konformitätsnachweisverfahren für tragende Bauteile; Deutsche Fassung EN 1090-1:2009+A1:2011.

DIN EN 1090-2:2018-09: Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken - Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken; Deutsche Fassung EN 1090-2:2018.

DIN EN 1090-3:2008-09: Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken - Teil 3: Technische Regeln für die Ausführung von Aluminiumtragwerken; Deutsche Fassung EN 1090-3:2008.

DIN EN 1090-4:2018-09: Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken - Teil 4: Technische Anforderungen an tragende, kaltgeformte Bauelemente aus Stahl und tragende, kaltgeformte Bauteile für Dach-, Decken-, Boden- und Wandanwendungen; Deutsche Fassung EN 1090-4:2018.

DIN EN 1991-1-5:2010-12: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-5: Allgemeine Einwirkungen - Temperatureinwirkungen; Deutsche Fassung EN 1991-1-5:2003 + AC:2009.

DIN EN 1991-1-5/NA:2010-12: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-5: Allgemeine Einwirkungen – Temperatureinwirkungen.

DIN EN 1992-1-1:2011-01: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004 + AC:2010.

DIN EN 1992-1-1/A1:2015-03: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004/A1:2014.

DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.

DIN EN 1992-1-1/NA/A1:2015-12: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Änderung A1.

DIN EN 1992-2:2010-12: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 2: Betonbrücken - Bemessungs- und Konstruktionsregeln; Deutsche Fassung EN 1992-2:2005 + AC:2008.

DIN EN 1992-2/NA:2013-04: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 2: Betonbrücken - Bemessungs- und Konstruktionsregeln.

DIN EN 1993-1-4:2015-10: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-4: Allgemeine Bemessungsregeln - Ergänzende Regeln zur Anwendung von nichtrostenden Stählen; Deutsche Fassung EN 1993-1-4:2006 + A1:2015.

DIN EN 1995-1-1:2010-12: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1995-1-1:2004 + AC:2006 + A1:2008.

DIN EN 1995-1-1/A2:2014-07: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1995-1-1:2004/A2:2014.

DIN EN 1995-1-1/NA:2013-08: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau.

DIN EN 1995-2:2010-12: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 2: Brücken; Deutsche Fassung EN 1995-2:2004.

DIN EN 1995-2/NA:2011-08: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 2: Brücken.

DIN EN 13183-2:2002-07: Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz - Teil 2: Schätzung durch elektrisches Widerstands-Messverfahren; Deutsche Fassung EN 13183-2:2002.

DIN EN 13183-3:2005-06: Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz - Teil 3: Schätzung durch kapazitives Messverfahren; Deutsche Fassung EN 13183-3:2005.

DIN EN 13556:2003-10: Rund- und Schnittholz - Nomenklatur der in Europa verwendeten Handelshölzer; Dreisprachige Fassung EN 13556:2003.

DIN EN 14080:2013-09: Holzbauwerke - Brettschichtholz und Balkenschichtholz - Anforderungen; Deutsche Fassung EN 14080:2013.

DIN EN 14081-1:2016-06: Holzbauwerke - Nach Festigkeit sortiertes Bauholz für tragende Zwecke mit rechteckigem Querschnitt - Teil 1: Allgemeine Anforderungen; Deutsche Fassung EN 14081-1:2016.

DIN EN 14374:2005-02: Holzbauwerke - Furnierschichtholz für tragende Zwecke - Anforderungen; Deutsche Fassung EN 14374:2004.

DIN EN 14545:2009-02: Holzbauwerke - Nicht stiftförmige Verbindungselemente - Anforderungen; Deutsche Fassung EN 14545:2008.

DIN EN 14592:2012-07: Holzbauwerke - Stiftförmige Verbindungsmittel - Anforderungen; Deutsche Fassung EN 14592:2008+A1:2012.

E DIN EN 14592:2017-07: Holzbauwerke - Stiftförmige Verbindungsmittel - Anforderungen; Deutsche und Englische Fassung prEN 14592:2017.

DIN EN 15425:2017-05: Klebstoffe - Einkomponenten-Klebstoffe auf Polyurethanbasis (PUR) für tragende Holzbauteile - Klassifizierung und Leistungsanforderungen; Deutsche Fassung EN 15425:2017.

DIN EN 15228:2009-08: Bauholz – Bauholz für tragende Zwecke mit Schutzmittelbehandlung gegen biologischen Befall; Deutsche Fassung EN 15228:2009.

DIN EN 15497:2014-07: Keilgezinktes Vollholz für tragende Zwecke - Leistungsanforderungen und Mindestanforderungen an die Herstellung; Deutsche Fassung EN 15497:2014.

DIN EN 16254: 2016-12: Klebstoffe - Emulsionspolymerisiertes Isocyanat (EPI) für tragende Holzbauteile - Klassifizierung und Leistungsanforderungen; Deutsche Fassung EN 16254:2013+A1:2016.

DIN EN 16351:2015-12: Holzbauwerke - Brettsperrholz - Anforderungen; Deutsche Fassung EN 16351:2015.

DIN EN ISO 9223:2012-05: Korrosion von Metallen und Legierungen - Korrosivität von Atmosphären - Klassifizierung, Bestimmung und Abschätzung (ISO 9223:2012); Deutsche Fassung EN ISO 9223:2012.

DIN EN ISO 9224:2012-05: Korrosion von Metallen und Legierungen - Korrosivität von Atmosphären - Anhaltswerte für die Korrosivitätskategorien (ISO 9224:2012); Deutsche Fassung EN ISO 9224:2012.

DIN EN ISO 12236:2006-11: Geokunststoffe - Stempeldurchdruckversuch (CBR-Versuch) (ISO 12236:2006); Deutsche Fassung EN ISO 12236:2006.

DIN SPEC 1052-100:2013-08: Holzbauwerke – Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 100: Mindestanforderungen an die Baustoffe oder den Korrosionsschutz von Verbindungsmitteln.

## 8.2 Richtlinien, Merkblätter

- [BFS] BFS - Bundesausschuss Farbe und Sachwertschutz e.V.: *Merkblatt Nr. 18 – Beschichtungen auf Holz und Holzwerkstoffen im Außenbereich*, Stand 2006-03, Frankfurt a. M., 2006.
- [DGfH] DGfH - Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V.: *DGfH-Merkblatt – Vermeidung von Schimmelpilzbefall an Anstrichflächen außen*, Stand 2002-01, München, 2002.
- [Holzleimbau 1] Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. und Überwachungsgemeinschaft KVH e.V.: *Merkblatt zu ansetzbaren Rechenwerten für die Bemessung nach DIN EN 1995-1-1 für Vollholz, keilgezinktes Vollholz, Balkenschichtholz (Duobalken/ Triobalken), Brettschichtholz, Brettsperrholz und Furnierschichtholz*, 13. Aufl., Stand 17.05.2018, Wuppertal, 2018.
- [Holzleimbau 2] Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V.: *BS-Holz-Merkblatt*, 11. überarb. Aufl., Stand 2017-12, Wuppertal, 2017.
- [Holzleimbau 3] Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V.: *Wichtige Hinweise für den Umgang mit Brettschichtholz (BS-Holz)*, Wuppertal.
- [M AQ] FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Merkblatt zur Anlage von Querungshilfen für Tiere und zur Vernetzung von Lebensräumen an Straßen - M AQ*, Stand 2008, FGSV Verl., Köln, 2008.
- [MPA Stuttgart 1] Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart, Otto-Graf-Institut: *Klebstoffliste I der MPA Universität Stuttgart betreffend geprüfte Klebstoffe im Geltungsbereich der DIN 1052-10 und mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung*, Stand 02.02.2018, Stuttgart, 2018.
- [MPA Stuttgart 2] Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart, Otto-Graf-Institut: *Klebstoffliste II der MPA Universität Stuttgart Klebstoffe zur Verwendung in Bauprodukten gemäß den harmonisierten Produktnormen EN 14080:2013 und EN 15497:2014 und der Produktnorm EN 16351:2015*, Stand 06.04.2018, Stuttgart, 2018.
- [RE-ING] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: *Richtlinien für den Entwurf, die konstruktive Ausbildung und Ausstattung von Ingenieurbauten - RE-ING*, Stand 2017-10, Berlin, 2017.
- [RI-EBW-PRÜF] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: *Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 - RI-EBW-PRÜF*, Stand 22.02.2017, Berlin, 2017.
- [RI-ERH-KOR] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: *Richtlinien für die Erhaltung des Korrosionsschutzes von Stahlbauten – RI-ERH-KOR*, Stand 2006-05, Berlin, 2006.
- [SvfS Berlin] Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin: *Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Holzschutz und die Konstruktion von Holzbauwerken – ZTV-HOLZ 06*, Berlin, 2006.
- [TL/TP KDB] BASt - Bundesanstalt für Straßenwesen: *Technische Lieferbedingungen und Technische Prüfvorschriften für Kunststoffdichtungsbahnen*

und zugehörige Profilbänder TL/TP KDB, Stand 2017-10, Bergisch Gladbach, 2017.

[ZTV E STB 17] FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau - ZTV E StB 17*, Stand 2017, FGSV Verl., Köln, 2017.

[ZTV-ING] BASt - Bundesanstalt für Straßenwesen: *Zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten – ZTV-ING*, Stand 2018-10, Bergisch Gladbach, 2018.

[ZTV-LSW 06] FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: *Zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Ausführung von Lärmschutzwänden an Straßen – ZTV-Lsw 06*, FGSV Verl., Köln, 2006.

### 8.3 Sonstige Literatur

[Aicher 2018] Aicher, S.: *Stand sicherheitsbewertung von Rissen in tragenden Brücken-Holzbauteilen – Optimierungsbedarf der RI-EBW-PRÜF*, in: 5. Internationale Holzbrückentage IHB 2018, Filderstadt, 2018.

[DEGES] DEGES - Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH; SCHWESIG + LINDSCHULTE GmbH Beratende Ingenieure - VBI: *Nachhaltigkeitsstudie für Grünbrücken in Holzbauweise – Erfahrungen und Perspektiven*, Berlin, 2009.

[Frech 1987] Frech, P.: *Beurteilungskriterien für Rissbildungen bei Bauholz im konstruktiven Holzbau*, in: *Bauen mit Holz*, Vol. 89 (9), Bruderverlag, Karlsruhe, 1987.

[Marutzky et al. 2013] Marutzky, R.; Willeitner, H.; Radovic, B.; Hertel, H.; Grosser, D.: *Holzschutz - Praxiskommentar zu DIN 68800 Teile 1 bis 4, 2.*, vollst. überarb. Aufl., Beuth Verl., Berlin, 2013.

[Müller und Franke 2015] Müller, A. und Franke, B.: *Methoden der Zustandserfassung bei Holzbauwerken*, in: 8. Europäischer Kongress EBH 2015, Köln, 2015.

# **Anlage E**

## **Musterwartungshandbuch**

## Vorwort zum Muster-Wartungshandbuch für Holzbrücken

Das Wartungshandbuch gibt dem Baulastträger bauwerksspezifische Hinweise und Empfehlungen zur qualitätsgerechten, regelmäßigen Wartung seiner Holzbrücke. Durch eine regelmäßige, gewissenhafte und speziell auf das Bauwerk abgestimmte Wartung sollen die Standsicherheit, Dauerhaftigkeit und Verkehrssicherheit der Brücke sichergestellt werden. Ziel ist es, Schäden, basierend auf hohen Holzfeuchten, Verschmutzungen und biotischen Einwirkungen, zu vermeiden. Weiterhin werden Instandsetzungsmaßnahmen benannt, mit denen nach einer bestimmten Nutzungsdauer gerechnet werden muss.

### Anwendung

Das Wartungshandbuch ist eine Anlage zum Bauwerksbuch. Es obliegt dem Baulastträger, die angegebenen Hinweise umzusetzen, da dieser für die Erhaltung des Bauwerks zuständig ist.

Ein Wartungshandbuch gilt ausschließlich für das Bauwerk, für welches es erstellt wurde.

Da das Wartungshandbuch eine Anlage zum Bauwerksbuch ist, sollte es bei Neubaumaßnahmen durch den Aufsteller des Bauwerksbuches mit erstellt werden. Wartungshandbücher können bei Bedarf aber auch für bestehende Bauwerke erstellt werden. Sie sind dann ergänzend in die Bauwerksakte aufzunehmen. **Das Wartungshandbuch ist auf der Grundlage des vorliegenden Muster-Wartungshandbuches zu erstellen.**

### Hinweis

Unabhängig von der Wartung sind Brücken gemäß DIN 1076 turnusmäßigen Bauwerksprüfungen zu unterziehen. Für besondere Holzbrücken kann zusätzlich zum Wartungshandbuch ein Prüfhandbuch erstellt werden. Im Prüfhandbuch sind die Aufgaben für die laufende Beobachtung (i. d. R. zweimal jährlich) und die jährliche Besichtigung sowie für die Einfache Prüfung und die Hauptprüfung detailliert erläutert.

Es wird empfohlen, die Checklisten für die laufende Beobachtung und die Besichtigung, welche Bestandteile des Prüfhandbuches sind, parallel zum Wartungshandbuch zu verwenden. Da laufende Beobachtung und Besichtigung Grundlage für die Festlegung der notwendigen Wartungsarbeiten sind, ist damit eine zielgerichtete und wirtschaftliche Bauwerksüberwachung möglich.

Die in dem Wartungshandbuch und der Wartungsmatrix angegebenen Wartungsintervalle basieren auf der Auswertung von Erfahrungswerten von Bauherren, Ingenieuren der Bauwerksprüfung, Baufirmen und auf Literaturangaben. Für ein individuelles Bauwerk können aufgrund spezifischer Randbedingungen kürzere oder auch längere Wartungsintervalle sinnvoll sein. Die Intervalle der Wartungsarbeiten sind bei der Erstellung des Wartungshandbuches anhand der Standortbedingungen für jedes individuelle Bauwerk zu konkretisieren.

## Verfasser

Die Entwicklung des Muster-Wartungshandbuches für Holzbrücken erfolgte im Rahmen des Forschungsprojektes „Entwicklung einheitlicher Richtlinien für den Entwurf, den Bau, die Überwachung und Prüfung geschützter Holzbrücken – Protected Timber Bridges (ProTimB)“. Das Projekt wurde finanziert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung, den Firmen der Qualitätsgemeinschaft Holzbrückenbau e.V. und dem Ingenieurbüro Setzpfandt Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG.

### Projektleitung und Forscherteam:

Prof. Dr.-Ing. Antje Simon	Fachhochschule Erfurt
Prof. Dr.-Ing. Ralf Arndt	Fachhochschule Erfurt
Dr.-Ing. Markus Jahreis	Fachhochschule Erfurt
Johannes Koch	Fachhochschule Erfurt

Die Entwicklung des Muster-Wartungshandbuches wurde begleitet von einer Arbeitsgruppe, der folgende Experten angehörten:

Jürgen Schaffitzel	Schaffitzel Holzindustrie GmbH + Co. KG, Schwäbisch-Hall
Josef Schmees	Schmees & Lühn Holz- und Stahlingenieurbau GmbH, 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

*-Wappen-* Verwaltung Zeile 1  
Verwaltung Zeile 2

Teilbauwerks-Nr.: *Nummer*

Straße: *Straße*

---

# Muster-Wartungshandbuch für Holzbrücken

**Bauwerksname:**

**Teilbauwerksname:**

**Nächst gelegener Ort:**

**Bauwerksart:**

**Konstruktion:**

**Bauwerksrichtung:**

**Baujahr:**

*-Bild: Seitenansicht des Bauwerks-*



## Inhaltsverzeichnis

1.	Bestandsdaten, Bauwerksskizze .....	3
1.1	Übersichtsblatt.....	3
1.2	Bauwerksskizze, Details .....	4
2.	Bauwerksspezifische Hinweise und Anweisungen zur Unterhaltung des Bauwerks.....	5
2.1	Allgemeines.....	5
2.2	Regelmäßige Entfernung von Bewuchs im Bereich des Bauwerks .....	5
2.3	Regelmäßige Reinigung des Bauwerks .....	5
2.4	Regelmäßige Erneuerung von Anstrichen .....	6
2.5	Regelmäßige Erneuerung von Fugenfüllungen.....	6
2.6	Laufende Reparaturen einzelner Bauteile.....	6
3.	Bauwerksspezifische Instandsetzung .....	7
3.1	Allgemeines.....	7
3.2	Instandsetzung des konstruktiven Holzschutzes.....	7
3.3	Instandsetzung des Holzbohlenbelags .....	7
3.4	Instandsetzung des Geländers in Holzbauweise .....	8
3.5	Spezielle Instandsetzungskonzepte aus der Planungsphase.....	8
Anlage 1	Wartungsmatrix	
Anlage 2	Hinweise zur Holzfeuchtemessung	
Anlage 3	Instandsetzungskonzepte aus der Planung (beifügen, wenn vorhanden)	

# 1. Bestandsdaten, Bauwerksskizze

## 1.1 Übersichtsblatt

*-Übersichtsblatt zum Bauwerk aus SIB-Bauwerke einfügen-*

## 1.2 Bauwerksskizze, Details

*-Bauwerksskizzen und relevante Details einfügen -  
Bauelemente/Bereiche markieren, auf die bei der Wartung besonders zu achten ist*

## **2. Bauwerksspezifische Hinweise und Anweisungen zur Unterhaltung des Bauwerks**

### **2.1 Allgemeines**

Für Holzbrücken ist die Umsetzung eines konsequenten Wartungskonzepts besonders wichtig, da bei dieser Bauart eine Durchfeuchtung zu verhindern ist, um Schäden abzuwenden. Einfach auszuführende und kostengünstige Maßnahmen wie die Reinigung der Auflagerbänke und die Reinigung des Belags, sowie der Rückschnitt der umgebenden Vegetation tragen bereits erheblich zur Dauerhaftigkeit des Bauwerks bei und sind unbedingt durchzuführen.

### **2.2 Regelmäßige Entfernung von Bewuchs im Bereich des Bauwerks**

Zur Reduzierung von Laub- und Feuchteansammlungen, sowie der Vermeidung einer dauerhaften Beschattung ist die Vegetation rund um das Bauwerk regelmäßig zurück zu schneiden. Diese Maßnahme ist mindestens 1 x jährlich im Herbst durchzuführen (bei Bedarf öfter). Dabei sollen Bäume und Sträucher entfernt und Gras gemäht werden. Dies gilt für den Bereich unterhalb, sowie Streifen von 2 m Breite beidseitig der Brücke und in Bauwerksrichtung vor und nach der Brücke. Äste von weiter entfernten Bäumen, welche in diesen Bereich hineinragen, sollten ebenfalls zurückgeschnitten werden.

### **2.3 Regelmäßige Reinigung des Bauwerks**

Die Brücke ist regelmäßig zu reinigen. Dazu zählen die folgenden Maßnahmen:

#### A) Reinigung der Auflagerbänke und Pfeilerköpfe

Auflagerbänke und Pfeilerköpfe sind mindestens 1 x jährlich im Frühjahr von Splitt, Laub, Moos, Vogelnestern und sonstigem Unrat zu reinigen. Dabei sollen auch ggf. vorhandene Rinnen und Rohre im Bereich der Auflagerbänke gereinigt werden.

#### B1) Reinigung des Bohlenbelags

Bohlenbeläge sollen mindestens 1 x jährlich im Frühjahr von Splitt, Schmutz, Moos und Algenbewuchs gereinigt werden. Dies dient der Vermeidung von Feuchtenestern und der Sicherstellung der Verkehrssicherheit auf der Brücke (Rutschgefahr). Hierbei kann sowohl ein Besen als auch Druckluft oder ggf. ein Hochdruckreiniger mit Flächenreiniger bei niedrigem Druck verwendet werden. Bei Einsatz eines Hochdruckreinigers ist ein holzschonender Mindestabstand von ca. 30 cm einzuhalten. Es sollte mit maximal 240 bar gearbeitet werden. Ggf. kann auch eine Kehrmaschine zum Einsatz kommen. Bei starker Verschmutzung ist eine zusätzliche Reinigung im Herbst sinnvoll.

#### B2) Reinigung des Asphaltbelags

Beläge sollen mindestens 1 x jährlich im Frühjahr von Splitt, Schmutz und Moos gereinigt werden. Dies dient der Vermeidung von Feuchtenestern. Hierbei kann sowohl ein Besen als auch ein Hochdruckreiniger verwendet werden. Ggf. kann auch eine Kehrmaschine zum Einsatz kommen. Bei starker Verschmutzungsgefahr kann eine zusätzliche Reinigung im Herbst sinnvoll sein.

#### C1) Reinigung der Pflastermulden

Pflastermulden, welche der Entwässerung des Bauwerks dienen, sind mindestens 1 x jährlich zu reinigen.

#### C2) Reinigung der Abflüsse

Abflüsse, Straßeneinläufe und Entwässerungsrinnen sind mindestens 2 x jährlich zu reinigen.

#### D) Reinigung der Brückenunterseite

Bei offener Fahr-/Gehbahn kann sich Schmutz auf horizontalen Bauteilen unter dem Belag anhäufen. Deshalb sollten vor jeder Prüfung (alle 3 Jahre) die horizontalen Flächen von Bauteilen an der Brückenunterseite mit Besen oder Druckluft gereinigt werden. Da Moos- und Algenbewuchs sowie Fruchtkörper von Pilzen am Holz für die Prüfung wichtige Hinweise auf Befeuchtung und

Schäden sind, dürfen diese erst nach der Brückenprüfung vorsichtig entfernt werden, ohne den Schutzanstrich zu beschädigen. Die Zugänglichkeit kann im Turnus der Hauptprüfung kostengünstig über das zu diesem Zeitpunkt ohnehin vorhandene Brückenuntersichtgerät erfolgen.

Bei geschlossener Fahr-/Gehbahn ist mind. alle 6 Jahre ebenfalls eine Reinigung vorzunehmen.

#### E) Reinigung bewitterter Bauteile

Bewitterte Bauteile, wie Holzverschalungen, hölzerne Geländer oder Handläufe, sollen je nach Verschmutzungsanfall von Schmutz, Moos und Algenbewuchs gereinigt werden. Die Reinigung muss so erfolgen, dass der Schutzanstrich nicht beschädigt wird. Vor Anstricherneuerung müssen alle Bewuchsreste und losen Anhaftungen entfernt werden. Zur Reinigung kann in diesem Falle ein Hochdruckreiniger mit Flächenreiniger bei niedrigem Druck genutzt werden. Bei Einsatz eines Hochdruckreinigers ist ein holzschonender Mindestabstand von ca. 30 cm einzuhalten. Es sollte mit maximal 240 bar gearbeitet werden.

#### F) Reinigung der Dachrinnen bei gedeckten Brücken

Sind gedeckte Brücken mit Dachrinnen ausgestattet, so sind diese regelmäßig von Laub zu reinigen.

#### G) Vermeidung von Streusalz

Der Einsatz von Streusalz sollte vermieden werden, da durch Streusalz die Korrosion an Verbindungsmitteln und Stahleinbauteilen gefördert wird.

### **2.4 Regelmäßige Erneuerung von Anstrichen**

Bei bewitterten tragenden Bauteilen (z. B. konstruktiv nicht geschützte Hauptträger) sollte der Anstrich regelmäßig erneuert werden. Dafür sollte ein UV- beständiger, offenporiger Lasuranstrich aufgebracht werden. Die Oberfläche ist entsprechend vorzubereiten. Diese Maßnahme ist regelmäßig alle 5 bis 10 Jahre zu wiederholen. Die Intervalle zur Erneuerung von Anstrichen sind abhängig vom verwendeten Material und der Bauteilbeanspruchung. Bei starken Umwelteinflüssen (z.B. Sonneneinstrahlung) kann eine Erneuerung des Anstrichs auch in kürzeren Abständen erforderlich sein.

Bei bewitterten sekundären Traggliedern wie Holzverschalungen, hölzernen Geländern oder Handläufen verlängert eine regelmäßige Erneuerung des Anstriches ebenfalls die Nutzungsdauer. Alternativ kann die allseitige Bewitterung ohne Anstricherneuerung in Kauf genommen werden, die Nutzungsdauer des jeweiligen Bauteils verkürzt sich dadurch.

### **2.5 Regelmäßige Erneuerung von Fugenfüllungen**

Dauerelastische Fugen (z.B. Fugen an Durchdringungen von horizontalen Blechen und Deckbrettern) sind regelmäßig etwa alle 5-10 Jahre zu erneuern.

Fugen in bituminösen Deckschichten (z.B. zwischen Asphalt und Randabschlussprofil) sind etwa alle 5-15 Jahre zu erneuern.

### **2.6 Laufende Reparaturen einzelner Bauteile**

Laufende Erneuerungen und geringfügige Reparaturen einzelner Bauteile können durch den Bauwerksunterhalter selbst durchgeführt werden, wenn sie beispielsweise im Zuge der Bauwerksüberwachung oder Bauwerksprüfung erkannt wurden. Bei den folgenden Maßnahmen sind dabei die angegebenen Hinweise zu beachten:

#### A) Nachziehen der Schrauben im Bohlenbelag

Durch Quellen und Schwinden können sich die Schrauben, mit denen der Bohlenbelag befestigt ist, lockern und ggf. herausstehen. Sie sind bei Bedarf erneut anzuziehen. Schrauben aus nichtrostendem Stahl dürfen nicht zu fest angezogen werden, um ein Abscheren des Schraubenkopfes zu vermeiden.

### B) Nachziehen der Verbindungsmittel

Durch Quellen und Schwinden können sich Verbindungsmittel lockern. Ein Nachziehen dieser Verbindungsmittel, etwa im Bereich von Knotenpunkten, kann erforderlich sein.

### C) Austausch einzelner Bauteile

Geringfügige Schäden an einzelnen Bauteilen können ggf. durch den Bauwerksverantwortlichen behoben werden. Zum Beispiel ist die Erneuerung von einzelnen defekten Geländerelementen (Füllstab, Handlauf, etc.), Bohlen, Opferbrettern und von Teilen der Verschalung möglich. Beim Austausch ist auf die Verträglichkeit der Holzart und der Verbindungsmittel zu achten. So dürfen zur Befestigung von Bauteilen aus Eiche oder acetyliertem Holz ausschließlich Verbindungsmitteln aus nichtrostendem Stahl eingesetzt werden.

## **3. Bauwerksspezifische Instandsetzung**

### **3.1 Allgemeines**

Eine Instandsetzung bedarf immer einer fachgerechten Planung und Ausführung. Eine Instandsetzung kann die Erneuerung von Bauteilgruppen beinhalten, welche eine kürzere Nutzungsdauer aufweisen als die Nutzungsdauer der Brücke. Im Wartungshandbuch wird darauf verwiesen, dass Instandsetzungen von Verschleißteilen wie konstruktiver Holzschutz, Bohlenbelag und Geländer in bestimmten Intervallen erforderlich sein werden. Wenn spezielle Instandsetzungskonzepte bereits in der Planung vorgesehen wurden, ist an dieser Stelle darauf hinzuweisen.

### **3.2 Instandsetzung des konstruktiven Holzschutzes**

Die Erhaltung des konstruktiven Schutzes ist sehr wichtig für die Dauerhaftigkeit von Holzbrücken. Die Nutzungsdauer kann durch regelmäßige Reinigung und Behandlung mit Anstrichen, sowie die Ausführung kleinerer Reparaturen deutlich verlängert werden. Trotzdem wird der Austausch des konstruktiven Holzschutzes nach einer längeren Zeitspanne erforderlich sein. Dies stellt eine Instandsetzung dar und bedarf einer fachgerechten Planung und Ausführung.

Als Richtwerte für die Nutzungsdauer von Blechabdeckungen können > 100 Jahre für Kupfer, > 80 Jahre für Titanzink und > 50 Jahre für Aluminium angenommen werden.

Die Nutzungsdauer von Verschalungen ist wesentlich von dem Grad der Bewitterung und von den eingesetzten Hölzern abhängig. Für horizontal verlaufender Brettschalung kann die Nutzungsdauer in Abhängigkeit von den eingesetzten Hölzern abgeschätzt werden zu:

Fichte/Tanne:	10 - 15 Jahre
Lärche:	20 - 25 Jahre
Robinie:	25 - 30 Jahre
Acetyliertes Holz:	40 - 45 Jahre

Für vertikale Verschalungen darf eine etwas längere Nutzungsdauer erwartet werden. Der Prüfer bzw. Bauwerkserhalter empfiehlt eine Instandsetzung/Erneuerung, wenn die Standsicherheit, Verkehrssicherheit oder Dauerhaftigkeit beeinträchtigt ist.

### **3.3 Instandsetzung des Holzbohlenbelags**

Der Holzbohlenbelag unterliegt einer mechanischen Beanspruchung durch Begehung bzw. Befahrung und ist ständig der Bewitterung ausgesetzt. Die Nutzungsdauer für Holzbohlenbeläge kann zwar durch eine regelmäßige Reinigung verlängert werden, erreicht aber nicht die planmäßige Nutzungsdauer einer Holzbrücke.

Für die Nutzungsdauer von Holzbohlenbelägen können in Abhängigkeit vom verwendeten Material folgende Richtwerte angenommen werden:

Eiche, Lärche:	10 – 15 Jahre
Tropische Harthölzer der Dauerhaftigkeitsklasse ≤ 2:	15 – 20 Jahre

Der Austausch des gesamten Belags stellt eine Instandsetzungsmaßnahme dar und bedarf einer fachgerechten Planung und Ausführung.

Der Prüfer bzw. Bauwerkserhalter empfiehlt eine Instandsetzung/Erneuerung, wenn die Standsicherheit, Verkehrssicherheit oder Dauerhaftigkeit beeinträchtigt ist.

### 3.4 Instandsetzung des Geländers in Holzbauweise

Neben der erhöhten Feuchtebelastung infolge der freien Bewitterung führen mechanische Beanspruchungen (z. B. Anprall) zu kürzeren Nutzungsdauern. Die Nutzungsdauer kann durch eine regelmäßige Reinigung und Erneuerung des Anstrichs verlängert werden.

Für die Nutzungsdauer von Holzgeländern können in Abhängigkeit vom verwendeten Material folgende Richtwerte angenommen werden:

Eiche, Lärche:	20 – 25 Jahre
Robinie:	25 – 30 Jahre
Tropische Harthölzer der Dauerhaftigkeitsklasse ≤ 2:	25 – 30 Jahre

Der Austausch des gesamten Geländers stellt eine Instandsetzung dar und bedarf einer fachgerechten Planung und Ausführung.

Der Prüfer bzw. Bauwerkserhalter empfiehlt eine Instandsetzung/Erneuerung, wenn die Standsicherheit, Verkehrssicherheit oder Dauerhaftigkeit beeinträchtigt ist.

### 3.5 Spezielle Instandsetzungskonzepte aus der Planungsphase

In diesem Abschnitt sollen bereits in der Planung vorgesehene Instandsetzungskonzepte kurz beschrieben werden (z. B. Konzepte für den Austausch von tragenden Bauelementen).

**Muster-Wartungshandbuch für Holzbrücken**  
**Anlage 1 - Wartungsmatrix**

<b>Lfd. Nr.</b>	<b>Wartungsmaßnahme</b>	<b>Umfang der Maßnahme</b>	<b>erforderliches Material und Werkzeug<sup>1</sup></b>	<b>Zugangstechnik<sup>1</sup></b>	<b>Intervall</b>
01	Entfernen von Bewuchs	- Entfernen von Gras, Gebüsch, Sträuchern und Bäumen unter und 2 m beidseitig neben der Brücke - Rückschnitt von Ästen, welche in o.g. Bereich oder über die Brücke gewachsen sind	Mäher/Freischneider, Heckenschere, Säge, Motorsäge	Leiter	1 x jährlich (sinnvoll im Herbst) (2 x jährl. bei Bedarf)
02	Reinigung der Auflagerbänke und Pfeilerköpfe	- Entfernen von Splitt, Laub, Schmutz etc. - Reinigung der Entwässerungsrinne und -rohre	Besen, Schaufel, Hochdruckreiniger	Leiter	1 x jährlich (sinnvoll im Frühjahr)
03	Reinigung der Abflüsse, Straßeneinläufe, Entwässerungsrinnen	- Entfernen von Splitt, Laub, Schmutz etc. - ggf. Reinigung der Leitungen u. Drainagen	Besen, Schaufel, Hochdruckreiniger	keine	2 x jährlich
04	Reinigung der Pflastermulden	- Entfernen von Splitt, Laub, Schmutz etc.	Besen, Schaufel, Hochdruckreiniger	keine	1 x jährlich
05a	Reinigung des Überbaus (inkl. Unterkonstruktion) bei offenem Belag	- Entfernen von Vogelnestern, Spinnweben etc. - Entfernen von Splitt, Laub, Schmutz etc. von Querträgern - Entfernen von Moos- und Algenbewuchs (nach der Bauwerksprüfung)	Besen, Handfeger, Schaufel, Druckluftlanze, Hochdruckreiniger <sup>2</sup>	Untersichtgerät, Leiter/Rollgerüst, Hubarbeitsbühne	ca. alle 3 Jahre (z.B. im Zuge der Bauwerksprüfung wenn Untersichtgerät vor Ort)
05b	Reinigung des Überbaus (inkl. Unterkonstruktion) bei geschlossenem Belag	- Entfernen von Vogelnestern, Spinnweben etc. - Entfernen von Splitt, Laub, Schmutz etc. von Querträgern - Entfernen von Moos- und Algenbewuchs (nach der Bauwerksprüfung)	Besen, Handfeger, Schaufel, Druckluftlanze, Hochdruckreiniger	Untersichtgerät, Leiter/Rollgerüst, Hubarbeitsbühne	ca. alle 6 Jahre (z.B. im Zuge der Hauptprüfung wenn Untersichtgerät vor Ort)
06a	Reinigung des Holzbohlenbelages	- Entfernen von Splitt, Laub, Schmutz etc. - Entfernen von Moos- und Algenbewuchs	Besen, Druckluftlanze, Hochdruckreiniger <sup>2</sup> , Dampfstrahlreiniger	keine	Mind. 2 x jährlich (Frühjahr/Herbst), bei Bedarf öfter
06b	Reinigung des Asphaltbelages	- Entfernen von Splitt, Laub, Schmutz etc.	Besen, Hochdruckreiniger, Kehrmaschine	keine	1 x jährlich (sinnvoll im Frühjahr)
07	Reinigung der Hauptträgerverschalung	- Entfernen von Schmutz - Entfernen von Moos- und Algenbewuchs	Besen, Druckluftlanze, Dampfstrahlreiniger	Leiter, Hubarbeitsbühne	Nach Bedarf (ca. alle 3 bis 10 Jahre)
08	Reinigung der Dachrinne	- Entfernen von Laub aus Dachrinnen	Handfeger, Schaufel	Leiter, Hubarbeitsbühne	Nach Bedarf (i. d. R. alle 3 bis 5 Jahre)

<sup>1</sup> Die angegebenen Materialien und Werkzeuge sowie die Zugangstechnik stellen Beispiele dar. Die Auswahl für das jeweilige Bauwerk ist anhand der örtlichen Situation zu treffen.

<sup>2</sup> Bei Einsatz eines Hochdruckreinigers ist ein holzschonender Mindestabstand von ca. 30 cm einzuhalten. Es sollte mit maximal 240 bar gearbeitet werden.



**Muster-Wartungshandbuch für Holzbrücken**  
**Anlage 1 - Wartungsmatrix**

<b>Lfd. Nr.</b>	<b>Wartungsmaßnahme</b>	<b>Umfang der Maßnahme</b>	<b>erforderliches Material und Werkzeug<sup>1</sup></b>	<b>Zugangstechnik<sup>1</sup></b>	<b>Intervall</b>
09	Erneuerung des Anstriches tragender Bauteile	- bei Bedarf: Entfernen des alten Anstriches - Aufbringen des neuen Anstriches	Schleifgerät, Lasuranstrich, Pinsel	Leiter, Hubarbeitsbühne, Rollgerüst, Untersichtgerät	Nach Bedarf (ca. alle 5 bis 10 Jahre)
10	Erneuerung des Anstriches der Hauptträgerverschalung	- bei Bedarf: Entfernen des alten Anstriches - Aufbringen des neuen Anstriches	Schleifgerät, Lasuranstrich, Pinsel	Leiter, Hubarbeitsbühne, Rollgerüst, Untersichtgerät	Bei Bedarf
11	Erneuerung des Anstriches der Holzgeländer	- bei Bedarf: Entfernen des alten Anstriches - Aufbringen des neuen Anstriches	Schleifgerät, Lasuranstrich, Pinsel	keine	Bei Bedarf
12	Erneuerung der Fugen zwischen den Abdeckblechen auf Hauptträgern	- Entfernen schadhafter, brüchiger Fugen - fachgerechter Einbau neuer Fugen	lt. Fachmann/-firma	Leiter, Hubarbeitsbühne	Nach Bedarf (ca. alle 5-10 Jahre)
13	Erneuerung dauerelastischer Fugen zwischen Asphalt und Randabschlussprofil	- Entfernen schadhafter, brüchiger Fugen - fachgerechter Einbau neuer Fugen	lt. Fachmann/-firma	keine	Nach Bedarf (ca. alle 5-15 Jahre)
14	Reparatur der Hauptträgerverschalung	- Entfernen schadhafter Bauteile - Einbau neuer Bauteile	passgenaue neue Bauteile, Schrauben, Akkuschauber	Leiter, Hubarbeitsbühne	bei Bedarf
15a	Wartung u. Reparatur des Holzbohlenbelages	- herausstehende Schrauben erneut eindrehen und auf festen Sitz achten - Austausch schadhafter Bohlen	Akkuschauber, Bohlen, Schrauben	keine	bei Bedarf
15b	Reparatur des Asphaltbelages	- Verguss von Rissen, Ausbesserung von Löchern durch Fachfirma, wenn Schäden im Zuge der Bauwerksprüfung o. -überwachung festgestellt wurden	lt. Fachmann/-firma	lt. Fachmann/-firma	bei Bedarf
16	Reparatur des Holzgeländers	- Austausch schadhafter Bauteile	passgenaue neue Bauteile, Schrauben, Akkuschauber	keine	bei Bedarf
17	Erneuerung einzelner Abdeckbleche	- Austausch schadhafter Bleche (Materialverträglichkeit beachten)	passgenaue Bleche, Befestigungsmaterial	Leiter, Hubarbeitsbühne, Rollgerüst	bei Bedarf

# **Anlage F**

## **Musterprüfhandbuch**

## Vorwort zum Muster-Prüfhandbuch für Holzbrücken

### Ziel

Ein Prüfhandbuch ist für besondere Holzbrücken zu erstellen. Als besondere Holzbrücken gelten z. B. Grünbrücken sowie Fachwerk- oder Schrägseilbrücken mit großen Stützweiten. Das Prüfhandbuch dokumentiert als ergänzendes Hilfsmittel zur DIN 1076 Art und Umfang der notwendigen regelmäßigen Bauwerksprüfung und Überwachung. Im Prüfhandbuch sind spezielle Prüfhinweise, organisatorische und fachliche Anweisungen sowie Maßnahmen zur Verkehrssicherung bauwerksspezifisch zusammengestellt.

Das Prüfhandbuch dient dem Prüfer zur Optimierung der Planung und Durchführung der Brückenprüfung unter Berücksichtigung der Besonderheiten der jeweiligen Holzbrücke. Durch eine regelmäßige und gewissenhafte Bauwerksüberwachung, sowie eine speziell auf das Bauwerk abgestimmte Prüfung soll sichergestellt werden, dass Schäden rechtzeitig erkannt und wirtschaftlich behoben werden können.

### Anwendung

Das Prüfhandbuch ist eine Anlage zum Bauwerksbuch. Die Hinweise zur Prüfung und Überwachung sind durch den Baulastträger umzusetzen. Zur Vorbereitung einer Bauwerksprüfung ist das Prüfhandbuch gemeinsam mit dem Bauwerksbuch dem zuständigen Prüfer zur Verfügung zu stellen. Ein Prüfhandbuch gilt ausschließlich für das Bauwerk, für welches es erstellt wurde.

Da das Prüfhandbuch eine Anlage zum Bauwerksbuch ist, sollte es bei Neubaumaßnahmen durch den Aufsteller des Bauwerksbuches mit erstellt werden. Prüfhandbücher können bei Bedarf aber auch für bestehende Bauwerke erstellt werden. Sie sind dann ergänzend in die Bauwerksakte aufzunehmen.

**Das Prüfhandbuch ist auf der Grundlage des vorliegenden Muster-Prüfhandbuches zu erstellen. Beispiele für Prüfhandbücher sind unter [www.holzbrueckenbau.com](http://www.holzbrueckenbau.com) zu finden.**

## Verfasser

Die Entwicklung des Muster-Prüfhandbuches für Holzbrücken erfolgte im Rahmen des Forschungsprojektes „Entwicklung einheitlicher Richtlinien für den Entwurf, den Bau, die Überwachung und Prüfung geschützter Holzbrücken – Protected Timber Bridges (ProTimB)“. Das Projekt wurde finanziert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung, den Firmen der Qualitätsgemeinschaft Holzbrückenbau e.V. und dem Ingenieurbüro Setzpfandt Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG.

### Projektleitung und Forscherteam:

Prof. Dr.-Ing. Antje Simon	Fachhochschule Erfurt
Prof. Dr.-Ing. Ralf Arndt	Fachhochschule Erfurt
Dr.-Ing. Markus Jahreis	Fachhochschule Erfurt
Johannes Koch	Fachhochschule Erfurt

Die Entwicklung des Muster-Prüfhandbuches wurde begleitet von einer Arbeitsgruppe, der folgende Experten angehörten:

Jürgen Schaffitzel	Schaffitzel Holzindustrie GmbH + Co. KG, Schwäbisch-Hall
Josef Schmees	Schmees & Lühn Holz- und Stahlingenieurbau GmbH, 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

*-Wappen-*  
Verwaltung Zeile 1  
Verwaltung Zeile 2

Teilbauwerks-Nr.: *Nummer*

Straße: *Straße*

---

# Muster-Prüfhandbuch für Holzbrücken

**Bauwerksname:**

**Teilbauwerksname:**

**Nächst gelegener Ort:**

**Bauwerksart:**

**Konstruktion:**

**Bauwerksrichtung:**

**Baujahr:**

*-Bild: Seitenansicht des Bauwerks-*

## Inhaltsverzeichnis

1.	Bestandsdaten, Bauwerksskizze .....	3
1.1	Übersichtsblatt.....	3
1.2	Bauwerksskizze, Details .....	4
2.	Bauwerksspezifische Prüfhinweise und -anweisungen .....	5
2.1	Besonderheiten bei der Prüfung und Überwachung von Holzbrücken nach DIN 1076....	5
2.2	Laufende Beobachtung .....	5
2.3	Besichtigung.....	5
2.4	Prüfung.....	6
2.5	Zugänglichkeit und Voraussetzungen zur handnahen Prüfung nach DIN 1076 .....	7

Anlage 1	Prüfmatrix
Anlage 2	Hinweise zur Holzfeuchtemessung
Anlage 3	Checkliste zur Überwachung von Holzbrücken

# 1. Bestandsdaten, Bauwerksskizze

## 1.1 Übersichtsblatt

*-Übersichtsblatt zum Bauwerk aus SIB-Bauwerke einfügen-*

## 1.2 Bauwerksskizze, Details

*-Bauwerksskizzen und relevante Details einfügen -  
Bauteile/Bereiche markieren, die bei der Prüfung besonders zu berücksichtigen sind*



## 2. Bauwerksspezifische Prüfhinweise und -anweisungen

### 2.1 Besonderheiten bei der Prüfung und Überwachung von Holzbrücken nach DIN 1076

Die DIN 1076 definiert Umfang und Häufigkeit der Prüfung und Überwachung von Ingenieurbauwerken. Ergänzende Vorgaben zur Prüfung von Holzbrücken werden in der RI-EBW-PRÜF angegeben. Folgend werden zusätzliche Hinweise gegeben, welche sich speziell auf das Bauwerk (*Bauwerksnummer*) beziehen.

Unabhängig von der Prüfung sollten Holzbrücken regelmäßig gewartet werden. Hierfür kann zusätzlich zum Prüfhandbuch ein Wartungshandbuch erstellt werden. Das Wartungshandbuch gibt dem Baulastträger bauwerksspezifische Hinweise zur qualitätsgerechten, regelmäßigen Wartung seiner Holzbrücke. Durch eine regelmäßige, gewissenhafte und speziell auf das Bauwerk abgestimmte Wartung sollen die Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit der Brücke sichergestellt werden.

### 2.2 Laufende Beobachtung

Im Rahmen einer Laufenden Beobachtung soll zusätzlich zu den geltenden Bestimmungen auf Folgendes geachtet werden:

- A) Fehlen offensichtlich Teile einer Holzverschalung oder Blechabdeckung (vor allem der Hauptträger) oder sind Teile einer Holzverschalung oder Blechabdeckung so beschädigt, dass Niederschlag eindringen kann (z.B. durch Vandalismus)?
- B) Sind vom Geländeniveau aus, seitlich oder unterhalb der Brücke, feuchte Stellen erkennbar (z.B. durch Wasserränder)? Wenn die Laufende Beobachtung während oder kurz nach einem Regenereignis durchgeführt wird, kann ggf. beobachtet werden, ob Wasser unterhalb einer Verschalung oder Abdeckung austritt, was auf einen Defekt des konstruktiven Schutzes hindeutet.
- C) Sind Fruchtkörper holzerstörender Pilze, Holzfäule oder Ausschlußflöcher von holzerstörenden Insekten auf den ersten Blick an der Holzkonstruktion erkennbar?

### 2.3 Besichtigung

Bei jeder Besichtigung soll während der Begehung des Bauwerks zusätzlich zu den geltenden Bestimmungen auf Folgendes geachtet werden:

- A) Alle zugänglichen konstruktiven Schutzeinrichtungen gegen Feuchtezutritt (Blechabdeckungen, Holzverschalungen, Dächer, etc.) sollen auf Vorhandensein und Funktionstüchtigkeit untersucht werden.
- B) Alle zugänglichen Bauteile sind auf feuchte Stellen zu untersuchen (Untersuchung auf Wasserränder, Holz im Erdkontakt, Moos- und Algenbewuchs, Tropfen und Rinnsale während oder kurz nach einem Regenereignis, etc.). Bei Verdacht auf ein lokal erhöhtes Holzfeuchteniveau sollten im betroffenen Bereich Holzfeuchtemessungen nach dem elektrischen Widerstands-Messverfahren durchgeführt werden.
- C) Alle zugänglichen tragenden Bauteile sind zu betrachten, um Fruchtkörper holzerstörender Pilze und/oder Myzel sowie eine veränderte Holzoberfläche (beginnende Fäule) zu erkennen.
- D) Alle zugänglichen Bauteile sind zu betrachten, um Ausschlußflöcher holzerstörender Insekten zu erkennen.
- E) Auf herausstehende Verbindungsmittel ist zu achten (z.B. Schrauben im Bohlenbelag, Stabdübel in Knotenbereichen, etc.).

## 2.4 Prüfung

### 2.4.1 Allgemeines

Allgemeine Hinweise zur Prüfung von Holzbrücken:

- A)** Zusätzlich zur üblichen Dokumentation der Lufttemperatur und des Wetters zum Zeitpunkt der Prüfung ist auch die relative Luftfeuchte zu erfassen. Die aus Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte berechenbare Ausgleichsfeuchte kann bei der Interpretation der gemessenen Holzfeuchtwerte helfen.
- B)** Die umgebende Vegetation, eine häufige Verschattung und der Reinigungszustand beeinflussen das Feuchteniveau einer Holzbrücke erheblich. Diese Faktoren sind bei der Interpretation der gemessenen Holzfeuchte zu berücksichtigen. Werden Bewuchs oder starke Verschmutzungen festgestellt, sollte vom Prüfer die Durchführung von Wartungsarbeiten (ggf. mit Bezug auf das Wartungshandbuch) empfohlen werden.
- C)** Erfolgt die Prüfung einer Holzbrücke während eines Regenereignisses oder kurz danach, können Wassertransportvorgänge besser beobachtet und undichte Stellen im konstruktiven Holzschutz festgestellt werden.
- D)** Erfahrungen mit dem Baustoff Holz und möglichen Schadensbildern sind bei der Prüfung von Holzbrücken notwendig. Das Hinzuziehen einer im Holzbau fachkundigen Person kann bei der Prüfung und der Auswertung sinnvoll sein.
- E)** Bauwerkshauptprüfungen müssen immer handnah (visuell und haptisch) erfolgen. Zur Prüfung sind immer ein geeignetes Holzfeuchtemessgerät und eine Fühlerlehre zur Risstiefenmessung einzusetzen. Bei ausreichend vorhandener Erfahrung kann mit Hilfe eines Latthammers der Umfang eines bekannten Fäulnisschadens bestimmt werden. Der Einsatz eines Resistographen ist nicht bei einer normalen Prüfung, sondern nur bei Verdacht auf gravierende Schäden, z. B. im Rahmen einer Objektbezogenen Schadensanalyse (OSA), vorzusehen.

### 2.4.2 Einfache Prüfung

Bei der Einfachen Prüfung sind die Ergebnisse der vorhergehenden Hauptprüfung zu berücksichtigen und die im zugehörigen Protokoll gekennzeichneten Mängel/Schäden zu prüfen. Die Einfache Prüfung ist, soweit vertretbar, ohne Verwendung von Besichtigungsgeräten oder –einrichtungen als intensive, erweiterte Sichtprüfung durchzuführen. Ansonsten gelten für die Einfache Prüfung dieselben Hinweise wie für die Hauptprüfung (siehe Abschn. 2.4.3).

### 2.4.3 Hauptprüfung

Bei jeder Hauptprüfung sollen zusätzlich zu den geltenden Bestimmungen die folgenden Hinweise zur Prüfung beachtet werden. Um die handnahe Prüfung aller tragenden Bauteile zu gewährleisten, ist auch die Inaugenscheinnahme der schlecht zugänglichen Bereiche zu ermöglichen (z. B. durch Entfernung der Verschalung in Verdachtsfällen, siehe Abschnitt 2.5). Alternativ können Endoskope zum Einsatz kommen.

- A)** Alle, auch die schlecht zugänglichen, konstruktiven Schutzeinrichtungen gegen Feuchtezutritt (Blechabdeckungen, Holzverschalungen, Dächer, etc.) sind auf Vorhandensein und Funktionstüchtigkeit zu prüfen. Dabei ist auch zu untersuchen, ob und in welchem Umfang die Schutzeinrichtungen ggf. erneuert werden sollten.
- B)** Gemäß RI-EBW-PRÜF sollen bei jeder Prüfung Holzfeuchtemessungen an konstruktiv sinnvollen Stellen durchgeführt werden. Diese Stellen sind vorab in einer Skizze festzulegen. Für das Bauwerk (*Bauwerksnummer*) wird empfohlen stichprobenartige Messungen vor allem in den folgenden Bereichen durchzuführen: Auflagerbereich, unterhalb ÜKO, Knotenpunkte mit Verbindungsblechen etc.
- C)** Alle, auch die schlecht zugänglichen Bauteile sind auf Anzeichen für feuchte Stellen und auf Verschmutzung zu prüfen:

- Wasserränder
- Moos- und Algenbewuchs
- Tropfen und Rinnsale während oder kurz nach einem Regenereignis
- verschmutzte Knotenbereiche (vor allem bei Fachwerken können sich Schmutz und organisches Material in den Eckbereichen sich kreuzender Bauteile anlagern)
- unter außenliegenden Verbindungsblechen an Knotenpunkten
- Holz im Erdkontakt
- Schmutzansammlungen auf Auflagerbänken, Pfeilerköpfen, Querträgern und Bohlenbelägen sowie in Fugen, Rinnen und Entwässerungsleitungen

Bei Verdacht auf ein lokal erhöhtes Holzfeuchteniveau sind im betroffenen Bereich Holzfeuchtemessungen nach dem elektrischen Widerstands-Messverfahren durchzuführen.

- D)** Alle, auch die schlecht zugänglichen Bauteile, sind auf das Vorhandensein von Fruchtkörpern holzerstörender Pilze und Myzel zu überprüfen. Dabei sollen auch schlecht einzusehende Bereiche, wie etwa unter Verschalungen und auf der Unterseite von Bohlenbelägen, geprüft werden. Bereiche mit veränderter Holzoberfläche sind genauer zu prüfen (Art und Ausmaß eines möglichen Pilzbefalls).

Zur Verifizierung eines Schadens und zur Beurteilung des Schadensausmaßes ist eine Festigkeitskontrolle der Holzstruktur in den betroffenen Bereichen durchzuführen. Dies kann durch Einstich geeigneter Hilfsmittel (z.B. Messer, Schraubendreher, Ahle oder Zimmermannshammer) erfolgen.

- E)** Alle, auch die schlecht zugänglichen Bauteile sind auf Ausschupflöcher holzerstörender Insekten zu prüfen. Auch auf herumliegendes oder in Spinnweben gefangenes Bohrmehl, welches ein Indiz für Insektenbefall sein kann, sollte geachtet werden.
- F)** Alle, auch die schlecht zugänglichen Verbindungsmittel sind in Bezug auf Korrosion und festen Sitz zu prüfen. Auf herausstehende Schrauben im Holzbohlenbelag ist zu achten.

## **2.5 Zugänglichkeit und Voraussetzungen zur handnahen Prüfung nach DIN 1076**

DIN 1076 verlangt eine handnahe Prüfung aller Bauwerksteile im Rahmen jeder Hauptprüfung. Um die handnahe Prüfung am jeweiligen Bauwerk zu ermöglichen, ist in diesem Abschnitt konkret anzugeben:

- welche Bauteile (z.B. Verschalungen) ggf. zur Durchführung der Prüfung entfernt werden müssen und
- welche Geräte und Zugangstechnik erforderlich ist (z. B. Definition der Anforderungen an das Brückenuntersichtgerät). In besonderen Fällen, wie etwa einer Lage im Bereich von Gleisanlagen, sollte eine Skizze zur Aufstellung der Zugangstechnik beigefügt werden.

**Muster-Prüfhandbuch für Holzbrücken**  
**Anlage 1 - Prüfmatrix**

<b>Lfd Nr.</b>	<b>Prüfverfahren</b>	<b>Prüfumfang</b>	<b>Prüfmittel</b>	<b>Zugangstechnik</b>	<b>Laufende Beobachtung (LB)</b> (2 x jährlich)	<b>Besichtigung (B)</b> (1 x jährlich wenn keine Prüfung)	<b>Einfache Prüfung (E)</b> (3 Jahre nach Hauptprüfung)	<b>Hauptprüfung (H)</b> (Abnahme; Ende der Gewährleistung; danach alle 6 Jahre)	<b>OSA</b> (bei gravierenden Schäden unklarer Ursache oder Ausmaßes)
01	Visuelle Prüfung des konstruktiven Holzschutzes	Vorhandensein und Zustand des konstruktiven Holzschutzes; Reparatur- und Austauschbedarf	keine	LB/B/E: keine H: ggf. Untersichtgerät, Hubarbeitsbühne	Bleche und Verschalung Hauptträger	Von der Verkehrsebene und dem Geländeniveau u zugängliche schützende Bauteile	zugängliche schützende Bauteile	gesamter konstruktiver Holzschutz	
02	Visuelle Prüfung auf feuchte Stellen	Feuchtefahnen; Moos- und Algenbewuchs; (Prüfung sinnvoll nach Regenereignis)	keine	LB/B/E: keine H: ggf. Untersichtgerät, Hubarbeitsbühne	Von der Verkehrsebene und Geländeniveau aus sichtbare Bauteile	Von der Verkehrsebene und dem Geländeniveau u aus zugängliche Bauteile	zugängliche Bauteile	alle Bauteile	
03	Visuelle Prüfung auf Anzeichen eines Pilzbefalls	Veränderung der Holzoberfläche; oberflächiges Myzel; Fruchtkörper	keine	LB/B/E: keine H: ggf. Untersichtgerät, Hubarbeitsbühne	Bohlenbelag; Verschalung	Von der Verkehrsebene und dem Geländeniveau u aus zugängliche Bauteile	zugängliche Bauteile	alle Bauteile	
04	Visuelle Prüfung auf Anzeichen eines Insektenbefalls	Ausschlupflöcher; ggf. Bohrmehl an Spinnweben	keine	LB/B/E: keine H: ggf. Untersichtgerät Hubarbeitsbühne	Bohlenbelag; Verschalung	Von der Verkehrsebene und dem Geländeniveau u aus zugängliche Bauteile	zugängliche Bauteile	alle Bauteile	

**Muster-Prüfhandbuch für Holzbrücken**  
**Anlage 1 - Prüfmatrix**

<b>Lfd Nr.</b>	<b>Prüfverfahren</b>	<b>Prüfumfang</b>	<b>Prüfmittel</b>	<b>Zugangstechnik</b>	<b>Laufende Beobachtung (LB)</b> (2 x jährlich)	<b>Besichtigung (B)</b> (1 x jährlich wenn keine Prüfung)	<b>Einfache Prüfung (E)</b> (3 Jahre nach Hauptprüfung)	<b>Hauptprüfung (H)</b> (Abnahme; Ende der Gewährleistung; danach alle 6 Jahre)	<b>OSA</b> (bei gravierenden Schäden unklarer Ursache oder Ausmaßes)
05	Visuelle und haptische Prüfung der Verbindungsmittel	auf herausstehende Verbindungsmittel achten; ggf. Sitz mit Maulschlüssel prüfen	Maulschlüssel	B/E: ggf. Leiter H: Untersichtgerät, Hubarbeitsbühne	-	sichtbare Verbindungsmittel (z.B. Schrauben Bohlenbelag; Stabdübel)	zugängliche Verbindungsmittel	alle Verbindungsmittel	
06	Visuelle Prüfung auf Korrosion der Verbindungsmittel	Verbindungsmittel auf Korrosion prüfen	keine	E: ggf. Leiter H: ggf. Untersichtgerät, Hubarbeitsbühne	-	-	zugängliche Verbindungsmittel	alle Verbindungsmittel	
07	Haptische Prüfung der Verkehrsflächen	Prüfung der Verkehrsflächen auf Griffigkeit	keine	keine	Verkehrsfläche	Verkehrsfläche	Verkehrsfläche	Verkehrsfläche	
08	Holzfeuchtemessung	Bestimmung der Holzfeuchte (z.B. nach elektrischem Widerstandsmessverfahren)	Holzfeuchtemessgerät	B/E: ggf. Leiter H: ggf. Untersichtgerät Hubarbeitsbühne	-	bei Bedarf (Anzeichen Feuchtezutritt)	bei Bedarf (Anzeichen Feuchtezutritt) u. Stichproben	bei Bedarf (Anzeichen Feuchtezutritt) u. Stichproben	
09	Risstiefenmessung	Bestimmung der Risstiefen an tragenden Bauteilen	Fühlerlehre	E: ggf. Leiter H: ggf. Untersichtgerät, Hubarbeitsbühne	-	-	bei Bedarf (Anzeichen Schädigung)	bei Bedarf (Anzeichen Schädigung)	

**Muster-Prüfhandbuch für Holzbrücken**  
**Anlage 1 - Prüfmatrix**

<b>Lfd Nr.</b>	<b>Prüfverfahren</b>	<b>Prüfumfang</b>	<b>Prüfmittel</b>	<b>Zugangstechnik</b>	<b>Laufende Beobachtung (LB) (2 x jährlich)</b>	<b>Besichtigung (B) (1 x jährlich wenn keine Prüfung)</b>	<b>Einfache Prüfung (E) (3 Jahre nach Hauptprüfung)</b>	<b>Hauptprüfung (H) (Abnahme; Ende der Gewährleistung; danach alle 6 Jahre)</b>	<b>OSA (bei gravierenden Schäden unklarer Ursache oder Ausmaßes)</b>
10	Eindringwiderstandsprüfung zur Festigkeitskontrolle der Holzstruktur	Einstich geeigneter Hilfsmittel in tragende Bauteile zur Feststellung der Festigkeit bzw. Aufdeckung von Hohlräumen	Messer/ Schraubendreher/ Ahle etc.	E: ggf. Leiter H: ggf. Untersichtgerät, Hubarbeitsbühne	-	-	bei Bedarf (Anzeichen Schädigung)	bei Bedarf (Anzeichen Schädigung) und Stichproben	
11	Träger abklopfen zur Detektion von Hohlräumen	tragende Bauteile	Latt- oder Zimmermannshammer	E: keine H: ggf. Untersichtgerät, Hubarbeitsbühne	-	-	bei Bedarf (Anzeichen Schädigung)	bei Bedarf	
12	Endoskopie	nicht zugängliche bzw. verdeckte tragende Bauteile	Endoskopy	H: ggf. Leiter, Untersichtgerät, Hubarbeitsbühne	-	-	-	bei Bedarf	
13	Bohrwiderstandsmessung zur Detektion von Hohlräumen	geschädigte tragende Bauteile	Bohrwiderstandsmessgerät	ggf. Leiter, Untersichtgerät, Hubarbeitsbühne	-	-	-	-	bei Verdacht auf gravierende Schäden (z.B. Pilzbefall im Inneren)

**Anmerkungen:**

Bei einer Sonderprüfung oder OSA kann die Anwendung einzelner oder aller aufgeführten Prüfverfahren oder darüberhinausgehender, nicht aufgeführter Verfahren erforderlich sein. Wenn Holzbrücken gemäß RI-EBW-PRÜF 2017, Abs. 3.2 jährlich geprüft werden, sind keine Prüfmaßnahmen im Rahmen der Bauwerksüberwachung notwendig (d. h. bei einer Besichtigung ist keine Holzfeuchtemessung vorzunehmen– vgl. Zeile 08).

## Hinweise zur Holzfeuchtemessung

### Allgemeines

Die Bestimmung der Materialfeuchte ist bei der Prüfung von Brücken in Holzbauweise gemäß RI-EBW-PRÜF<sup>1</sup> nach dem elektrischen Widerstandsmessverfahren vorgeschrieben. Auch bei Auffälligkeiten, welche im Rahmen einer Besichtigung vorgefunden werden, kann die Messung der Holzfeuchte sinnvoll sein. Das elektrische Widerstandsmessverfahren nach DIN EN 13183-2<sup>2</sup> stellt eine Schätzung dar. Im Folgenden werden Grundlagen zur Holzfeuchte erläutert und Hinweise zum Messvorgang und zur Interpretation der Ergebnisse gegeben.

### Grundlagen zur Holzfeuchte

Die Holzfeuchte ist vom Umgebungsklima abhängig. Für die Praxis reicht die Betrachtung der umgebungsklimatischen Parameter relative Luftfeuchte und Lufttemperatur aus. Gemäß Nationalem Anhang zum EC5 Teil 2<sup>3</sup> sollen Haupttragelemente der Konstruktion als geschützte Bauteile (Zuordnung zu Nutzungsklasse 2), untergeordnete Elemente könne als ungeschützte Bauteile (Zuordnung zu Nutzungsklasse 3) vorgesehen werden. Dabei gilt ein Bauteil als geschützt, wenn eine direkte Einwirkung durch Niederschlag ausgeschlossen werden kann. Gemäß EC5 Teil 1-1<sup>4</sup> werden die Nutzungsklassen wie folgt definiert:

- Nutzungsklasse 2: Lufttemperatur ca. 20°C; relative Luftfeuchte übersteigt 85 % nur wenige Wochen im Jahr; → mittlere Holzfeuchte der meisten Nadelhölzer übersteigt 20 M% nicht
- Nutzungsklasse 3: Klimabedingungen führen zu höheren Holzfeuchten als bei Nutzungsklasse 2

Für Holzkonstruktionen werden Holzfeuchten  $\leq 20$  M% angestrebt, da in diesem Bereich der Befall des Holzes durch holzerstörende Pilze ausgeschlossen werden kann.

### Hinweise zur Messung

Bei der Holzfeuchtemessung nach dem elektrischen Widerstandsverfahren sind grundsätzlich die Angaben des Messgeräteherstellers zu beachten. Meist wird die Messung mittels zweier Elektroden erfolgen, welche im Abstand von etwa 30 mm quer zur Faser in das Holz eingetrieben werden. Bei der Geräteauswahl ist darauf zu achten, dass die Messung nicht an der Oberfläche des Bauteils sondern in einer Tiefe von etwa 30 – 40 mm (z.B. mit teflonisolierten Stahlnägeln) erfolgen soll. Weiterhin soll das Gerät eine Temperaturkompensation ermöglichen und über Eichkurven wichtiger Holzarten verfügen. Die folgenden Hinweise sollten beachtet werden:

- Durchführung der Holzfeuchtemessung vorzugsweise nach einem Regenereignis. Die Holzoberfläche sollte trocken und weitgehend sauber sein.
- Messung der aktuellen Temperatur (idealerweise Temperatur des Bauteils; hilfsweise Temperatur der Umgebungsluft) und Einstellung am Messgerät zur Temperaturkompensation
- Einstellung der korrekten Holzart am Gerät
- Messungen nicht im Bereich von Ästen, Harzgallen, Rissen, Klebefugen etc. durchführen

---

<sup>1</sup> Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076, 2017.

<sup>2</sup> DIN EN 13183-2:2002-07: Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz - Teil 2: Schätzung durch elektrisches Widerstands-Messverfahren

<sup>3</sup> DIN EN 1995-2/NA:2011-08: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 2: Brücken.

<sup>4</sup> DIN EN 1995-1-1:2010-12: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten –Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau.

- Im Holz enthaltene Holzschutzmittel können die Ergebnisse der Messung verfälschen.
- Messung in etwa 30 – 40 mm Tiefe
- Elektroden nicht vollständig eintreiben, um Fehlmessung an Bauteiloberfläche auszuschließen
- Messergebnisse sind etwa 2 – 3 Sekunden nach dem Einschlagen der Elektroden abzulesen
- mehrere (min. 3) Messungen in einem auffälligen Bereich durchführen und Mittelwert berechnen
- Messung der Holzfeuchte min. 50 cm vom Hirnholzende, soweit möglich
- Ergebnisse sind zu protokollieren
- Bedienungsvorschrift des Messgeräteherstellers beachten, insbesondere auf:
  - korrekte Anordnung der Elektroden beim Einschlagen achten – Messbereich senkrecht bzw. parallel zur Faser,
  - Messbereich (oft ist der kalibrierte Messbereich beschränkt auf ca. 6 – 30 M%)
  - Messgerät regelmäßig kalibrieren (lassen), um Fehlfunktionen des Messgerätes auszuschließen

### **Vorhandene Materialien**

Die tragenden Bauteile der Brücke bestehen aus folgenden Holzarten:

- Hauptträger:
- ...

Die Oberflächen der Hölzer wurden mit folgenden Anstrichen und chemischem Holzschutz versehen:

- Hauptträger:
- ...

### **Interpretation der Ergebnisse**

Im Wesentlichen werden geschützte Haupttragelemente Holzfeuchten zwischen 12 – 20 M% aufweisen. Folgende Hinweise sollten bei der Interpretation der Ergebnisse beachtet werden:

- Sollte die Holzfeuchte über einen längeren Zeitraum über 20 M% liegen, kann das auf eindringenden Niederschlag hinweisen.
- Sollten Holzfeuchten von über 30 M% gemessen werden, ist das ein deutliches Anzeichen für eindringenden Niederschlag.
- Sollte die Holzfeuchtemessung nach einer relativ nassen Wetterperiode erfolgen, kann es sein, dass Holzfeuchten von über 20 M% ermittelt werden. Dies ist zunächst nicht zwangsläufig auf einen Defekt im konstruktiven Holzschutz zurückzuführen, sondern könnte durch eine langfristig erhöhte relative Luftfeuchte ausgelöst worden sein.
- Die Holzfeuchtemessung an bewitterten Bauteilen ist i. d. R. nicht sinnvoll, da die Holzfeuchten stark variieren und damit zu rechnen ist, dass sie den Wert von 20 M% häufig übersteigen.
- Erfolgt die Holzfeuchtemessung nach einer längeren Trockenphase, wird voraussichtlich eine Holzfeuchte unter 20 M% ermittelt werden. In diesem Falle besteht keine Garantie, dass das Holz keinen Schaden aufweist.



**Muster-Prüfhandbuch für Holzbrücken**  
**Anlage 3 - Checkliste zur Überwachung von Holzbrücken**

---

Bauwerksnummer: *Bauwerksnummer eintragen*

Straße: *Straße eintragen*

Bauwerksname: *Bauwerksname eintragen*

<h2 style="margin: 0;">Besichtigung</h2>	
Anlass:	<input type="checkbox"/> jährliche Besichtigung <input type="checkbox"/> nach Unfall <input type="checkbox"/> sonstige: .....
	<input type="checkbox"/> nach Hochwasser <input type="checkbox"/> nach Unwetter
Besichtigung wurde durchgeführt am ..... durch .....	
Folgende holzbrückenspezifischen Punkte wurden bei der Besichtigung beachtet:	
<input type="checkbox"/> Alle konstruktiven Holzschutzeinrichtungen waren vorhanden und funktionstüchtig. (Blechabdeckungen, Holzverschalungen, Dächer, etc.)	
<input type="checkbox"/> Alle zugänglichen Bauteile wurden auf feuchte Stellen untersucht. (Wasserränder, Holz im Erdkontakt, Moos- und Algenbewuchs, Tropfen und Rinnsale während oder kurz nach einem Regenereignis, etc.)	
<input type="checkbox"/> An betroffenen Stellen wurden Holzfeuchtemessungen durchgeführt. Die Messwerte wurden protokolliert (siehe unten).	
<input type="checkbox"/> Alle zugänglichen Bauteile wurden auf Fruchtkörper holzerstörender Pilze und/ oder sichtbares Myzel, sowie eine veränderte Holzoberfläche (beginnende Fäule) untersucht.	
<input type="checkbox"/> Alle zugänglichen Bauteile wurden auf Ausfluglöcher holzerstörender Insekten untersucht.	
<input type="checkbox"/> Wurden herausstehende Verbindungsmittel beobachtet? (Schrauben im Bohlenbelag, Stabdübel in Knotenbereichen, etc.)	
Folgende Veränderungen / Schäden / Feuchtemesswerte wurden festgestellt:	
.....	
.....	
.....	
Unterschrift: .....	

**Auszug aus DIN 1076:**

**„6.2 Besichtigung**

Alle Ingenieurbauwerke sind regelmäßig einmal jährlich ohne größere Hilfsmittel wie Besichtigungsfahrzeuge, Rüstung usw., aber unter Benutzung von am Bauwerk vorhandenen Besichtigungseinrichtungen, von begehbaren Hohlräumen des Bauwerks, von der Verkehrsebene und dem Geländeniveau, soweit zugänglich, auf offensichtliche Mängel oder Schäden hin zu besichtigen.

Von der Besichtigung ausgenommen sind die Jahre, in denen eine Haupt- bzw. eine Einfache Prüfung erfolgt.

Dabei sind insbesondere folgende Feststellungen zu protokollieren:

- außergewöhnliche Veränderungen am Bauwerk,
- erhebliche Mängel/Schäden an und Fehlen von Verkehrszeichen, Schutzeinrichtungen und Absturzsicherungen,
- erhebliche Mängel/Schäden und Verunreinigungen an Entwässerungseinrichtungen und Übergangskonstruktionen,
- erhebliche Mängel/Schäden an Belägen,
- erhebliche Anprallschäden und Betonabplatzungen, auffallende Risse,
- augenscheinliche Verformungen und Verschiebungen des Bauwerkes,
- Mängel/Schäden an Böschungen,
- Auskolkungen und Anlandungen in Gewässern.

Darüber hinaus sind die Bauwerke nach außergewöhnlichen Ereignissen, die die Stand- und Verkehrssicherheit der Bauwerke beeinträchtigen können, wie z. B. nach Ablauf jedes größeren Hochwassers oder Eisganges und nach schweren Unfällen zu besichtigen.“

Bauwerksnummer: *Bauwerksnummer eintragen*

Straße: *Straße eintragen*

Bauwerksname: *Bauwerksname eintragen*

## 1. Laufende Beobachtung

Laufende Beobachtung wurde durchgeführt am ..... durch  
.....

Folgende holzbrückenspezifischen Punkte wurden bei der Laufenden Beobachtung beachtet:

Fehlen konstruktive Holzschutzeinrichtungen? (Blechabdeckungen, Holzverschalungen, Dächer, etc.)

nein  ja Bemerkung:

Wurden Schäden an konstruktiven Holzschutzeinrichtungen beobachtet? (Blechabdeckungen, Holzverschalungen, Dächer, etc.)

nein  ja Bemerkung:

Wurden auf den ersten Blick feuchte Stellen entdeckt? (Wasserränder, Holz im Erdkontakt, Moos- und Algenbewuchs, Tropfen und Rinnsale während oder kurz nach einem Regenereignis, etc.)

nein  ja Bemerkung:

Wurden auf den ersten Blick Fruchtkörper holzerstörender Pilze oder Veränderungen an Holzoberflächen entdeckt?

nein  ja Bemerkung:

Wurden auf den ersten Blick Ausfluglöcher von Insekten in Holzbauteilen entdeckt?

nein  ja Bemerkung:

Ist die Durchführung von Wartungsmaßnahmen notwendig?

nein  ja Bemerkung:

Bemerkungen:

.....  
.....  
.....

Unterschrift: ..... Gesehen: .....

### Auszug aus DIN 1076:

#### „6.3 Laufende Beobachtung

Alle Ingenieurbauwerke sind im Rahmen der allgemeinen Überwachung des Verkehrsweges in Bezug auf deren Verkehrssicherheit laufend im Rahmen der Streckenkontrolle zu beobachten.

Darüber hinaus sind in der Regel zweimal jährlich alle Bauteile ohne besondere Hilfsmittel, von Verkehrsebene und Geländeniveau aus auf offensichtliche Mängel/Schäden hin zu beobachten.

Dabei sollen nur erhebliche und evtl. die Stand- bzw. Verkehrssicherheit gefährdende Mängel/Schäden protokolliert werden.

Die Besichtigung nach 6.2 bleibt unberührt.“

Bauwerksnummer: *Bauwerksnummer eintragen*

Straße: *Straße eintragen*

Bauwerksname: *Bauwerksname eintragen*

## 2. Laufende Beobachtung

Laufende Beobachtung wurde durchgeführt am ..... durch  
.....

Folgende holzbrückenspezifischen Punkte wurden bei der Laufenden Beobachtung beachtet:

Fehlen konstruktive Holzschutzeinrichtungen? (Blechabdeckungen, Holzverschalungen, Dächer, etc.)

nein  ja Bemerkung:

Wurden Schäden an konstruktiven Holzschutzeinrichtungen beobachtet? (Blechabdeckungen, Holzverschalungen, Dächer, etc.)

nein  ja Bemerkung:

Wurden auf den ersten Blick feuchte Stellen entdeckt? (Wasserränder, Holz im Erdkontakt, Moos- und Algenbewuchs, Tropfen und Rinnsale während oder kurz nach einem Regenereignis, etc.)

nein  ja Bemerkung:

Wurden auf den ersten Blick Fruchtkörper holzerstörender Pilze oder Veränderungen an Holzoberflächen entdeckt?

nein  ja Bemerkung:

Wurden auf den ersten Blick Ausfluglöcher von Insekten in Holzbauteilen entdeckt?

nein  ja Bemerkung:

Ist die Durchführung von Wartungsmaßnahmen notwendig?

nein  ja Bemerkung:

Bemerkungen:

.....  
.....  
.....

Unterschrift: ..... Gesehen: .....

### Auszug aus DIN 1076:

#### „6.3 Laufende Beobachtung

Alle Ingenieurbauwerke sind im Rahmen der allgemeinen Überwachung des Verkehrsweges in Bezug auf deren Verkehrssicherheit laufend im Rahmen der Streckenkontrolle zu beobachten.

Darüber hinaus sind in der Regel zweimal jährlich alle Bauteile ohne besondere Hilfsmittel, von Verkehrsebene und Geländeniveau aus auf offensichtliche Mängel/Schäden hin zu beobachten.

Dabei sollen nur erhebliche und evtl. die Stand- bzw. Verkehrssicherheit gefährdende Mängel/Schäden protokolliert werden.

Die Besichtigung nach 6.2 bleibt unberührt.“

## **Anlage G**

# **Hinweise zur Objektbezogenen Schadensanalyse (OSA) an Holzbrücken**

# Hinweise zur Objektbezogenen Schadensanalyse (OSA) an Holzbrücken

## Vorbemerkung

*Eine Objektbezogene Schadensanalyse (OSA) ist ein Verfahren zur Erfassung, Auswertung und Bewertung von Schäden, die zusätzliche Untersuchungen erfordern, sowie für Empfehlungen von Maßnahmen einschließlich Kostenschätzungen.*

Das vorliegende Dokument gibt Hinweise zur Untersuchung von Holzbrücken als Ergänzung zum Leitfaden „Objektbezogene Schadensanalyse“ der „Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten (RI-ERH-ING)“ [1]. Zur Bewertung und Dokumentation vorgefundener Schäden sind die „Anweisungen Straßeninformationsbank für Ingenieurbauten, Teilsystem Bauwerksdaten (ASB-ING)“ [2] zu beachten.

Das Dokument beinhaltet Ergänzungen zu einzelnen Kapiteln der OSA, nur die ergänzten Kapitel sind aufgeführt. Die Nummerierung der Ergänzungen entspricht der Kapitelnummerierung der OSA. Die vorliegenden Hinweise sind daher stets gemeinsam mit dem Leitfaden OSA anzuwenden. Um die Lesbarkeit zu erleichtern, wurden wörtliche oder sinngemäße Zitate (*kursiv* dargestellt) aus dem Leitfaden OSA [1] aufgenommen.

## Verfasser

Die Erarbeitung der „Hinweise zur Objektbezogenen Schadensanalyse (OSA) an Holzbrücken“ erfolgte im Rahmen des Forschungsprojektes „Entwicklung einheitlicher Richtlinien für den Entwurf, den Bau, die Überwachung und Prüfung geschützter Holzbrücken – Protected Timber Bridges (ProTimB)“. Das Projekt wurde finanziert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung, den Firmen der Qualitätsgemeinschaft Holzbrückenbau e.V. und dem Ingenieurbüro Setzpfandt Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG.

Projektleitung und Forscherteam:

Prof. Dr.-Ing. Antje Simon	Fachhochschule Erfurt
Prof. Dr.-Ing. Ralf Arndt	Fachhochschule Erfurt
Dr.-Ing. Markus Jahreis	Fachhochschule Erfurt
Johannes Koch	Fachhochschule Erfurt

Die Erarbeitung der „Hinweise zur Objektbezogenen Schadensanalyse (OSA) an Holzbrücken“ wurde begleitet von einer Arbeitsgruppe, der folgende Experten angehörten:

Jürgen Schaffitzel	Schaffitzel Holzindustrie GmbH + Co. KG, Schwäbisch Hall
Josef Schmees	Schmees & Lühn Holz- und Stahlingenieurbau 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., Friezheim
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

## 1 Einleitung

*Gemäß DIN 1076 [3] sind die Ingenieurbauwerke jährlich durch Laufende Beobachtungen und Besichtigung, alle 3 Jahre durch eine einfache Prüfung und alle 6 Jahre durch eine Hauptprüfung zu kontrollieren. Dadurch sollen Schäden und Mängel rechtzeitig erkannt werden, damit ein wirtschaftliches Erhaltungsmanagement durchgeführt werden kann. Die Bauwerke sind regelmäßig zu warten, um sie langfristig zu erhalten und aufwändigen Instandsetzungsmaßnahmen vorzubeugen.*

Bei der Planung und Bauausführung von Holzbrücken sind die spezifischen Besonderheiten des Materials Holz zu berücksichtigen. Holz ist ein organisches Baumaterial, welches im trockenen Zustand eine hohe Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit aufweist. Steigt die Feuchte langfristig über 20 M%, können holzerstörende Pilze und Insekten das Holz besiedeln und zerstören. Die Dauerhaftigkeit (D), Verkehrssicherheit (V) und Standsicherheit (S) sind dann gefährdet.

Jede Holzbrücke ist daher so zu planen, dass tragende Holzbauteile dauerhaft vor Feuchtezutritt geschützt und/oder die schnelle Ableitung eingedrungener Feuchte sowie die Rücktrocknung sichergestellt sind. Eine planmäßige Befeuchtung des Holzes, zum Beispiel durch Niederschlag, Oberflächen- oder Grundwasser sowie aus Ablagerungen (Laub, Erde, Schmutz, Streugut, Schnee) ist auszuschließen. Ist der Schutz nicht durch die Konstruktion selbst gegeben, müssen Abdichtungs- und Schutzmaßnahmen vorgesehen werden. Bei der Bauwerksüberwachung ist zu prüfen, ob die Schutzmaßnahmen funktionsfähig und Durchfeuchtungen oder Schäden an der Holzkonstruktion zu erkennen sind.

## 4 Einordnung von Schäden und Schadensbildern

### Hinweise zu 4.1 Abgrenzung

*Die Schadenskriterien für die Entscheidung zur Durchführung einer objektbezogenen Schadensanalyse können sein:*

- *Schäden, deren Ursachen unbekannt oder mit den Methoden der Bauwerksprüfung nach DIN 1076 [3] nicht ausreichend erfassbar sind, zum Beispiel:*
  - *Rissbilder oder Durchbiegungen des Überbaus, die nicht direkt geklärt werden können.*
  - *Rissbildungen im Holz, die durch Herstellungsfehler (Verklebung), Schwinden, mechanischer Beanspruchung, Querkzug oder Zwängung im Trägerquerschnitt verursacht worden sind.*
- *Vermutete Schäden, zum Beispiel:*
  - *Pilzschaden im Holz (sichtbare Fruchtkörper, deutliche und nicht nur oberflächliche Verfärbungen des Holzes, reduzierte Festigkeiten, Querrisse oder feine Rissnetze),*
  - *Insektenschaden im Holz (frische Insektenschlupflöcher, Hohlräume und Fraßgänge unter der Oberfläche, Abplatzungen),*
  - *Korrosion der Verbindungsbleche und Verbindungsmittel durch Verwendung ungeeigneter Stahlsorten, insbesondere in Holzarten mit erhöhter Korrosionswirkung (z.B. Eiche, acetyliertes Holz, Tropenholz etc.),*
  - *Schäden an Stahl- oder Holzbauteilen, deren Begutachtung durch angrenzende Bauteile nicht möglich ist (z. B. Träger hinter fest montierten Verschalungen oder unter Bohlenbelägen).*
- *Schäden größeren oder nicht ausreichend bekannten Ausmaßes, zum Beispiel:*
  - *starke Durchfeuchtung aufgrund beschädigter Abdichtung,*
  - *starke Durchfeuchtung aufgrund langfristiger Ablagerungen von Laub, Erde, Schmutz, Streugut und Schnee an der Holzkonstruktion infolge besonderer lokaler Bedingungen oder unterlassener regelmäßiger Wartung und Pflege.*

## Hinweise zu 4.2 Auswertung von Schadensdaten

Als Grundlage der objektbezogenen Schadensanalyse dient eine Auswertung der Schadensdaten hinsichtlich der Schädigungsentwicklung in Formularform (Abb. 4-2) aus dem DV-Programm SIB-Bauwerke.

Zu jedem Schaden werden die Einzelschadensbewertungen von 1 bis 4 für Standsicherheit (S), Verkehrssicherheit (V) und Dauerhaftigkeit (D) sowie der Zeitpunkt der Bauwerksprüfung, bei der dieser Schaden festgestellt wurde, angegeben. Zusätzlich wird der Schadensumfang dokumentiert.

Der Schutz der Holzbauteile vor Witterungseinflüssen ist entscheidend für die Dauerhaftigkeit und in der Folge für die Standsicherheit. Fehlende oder beschädigte Schutzeinrichtungen sind daher kritisch zu bewerten (D) und auf deren schnellstmögliche Instandsetzung ist hinzuweisen.

Beschreibung des Schadens	S				V				D				Schadensumfang	Bemerkung
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
<b>Bauteil:</b> Überbau Holzträger													[Größe, Anzahl]	
Holzschutz; Abdeckblech beschädigt											7/12		Blech fehlt auf 50 cm <sup>2</sup>	
Pilzbefall; vereinzelt Hauptträger			7/12								7/12			
Pilzbefall; Fruchtkörper sichtbar				6/18								6/18		
Verbindungs- mittel HT lose	6/18												alle FW- Knoten	
BSH Riss Querträger		6/18								6/18			L = 50 cm, T = 6 cm	

Abbildung 1: Formular des Schadenskataloges mit fiktivem Beispiel für Holzbrücken

## Hinweise zu 4.3 Untersuchungsmethoden

Im Rahmen der objektbezogenen Schadensanalyse sind vor allem zerstörungsfreie und zerstörungsarme Prüfmethode (ZfP) von Bedeutung.

Zur Untersuchung von Holzbauteilen sind folgende Verfahren etabliert:

- Sichtprüfung und Endoskopie,
- Risserfassung,
- lokal begrenzte und minimalinvasive Festigkeitsprüfung bei vermuteten Holzschäden und zur Bestimmung des Schadensausmaßes durch Einstechen mit Nadeln oder Bohrwiderstandsmessung,
- Holzfeuchtemessung nach dem elektrischen Widerstandsmessverfahren (Um Feuchtestellen rechtzeitig zu detektieren, wird der Einsatz von Dauerüberwachungssystemen der Holzfeuchte (Holzfeuchte-Monitorings) mit Datenfernübertragung empfohlen.),
- im besonderen Fall und mit geringem Eingriff Probenentnahme (Bohrprobe) für Laboruntersuchungen (Die Entnahmestellen sind so anzuordnen, dass keine Folgeschäden infolge der Querschnittsschwächungen auftreten. Nach der Probenentnahme sind die Öffnungen mit Holzersatzstücken gleicher Festigkeit wieder zu verschließen. Bohr- und Einstechlöcher sind gegen Feuchteintritt zu sichern.).

Die Tabellen 1 und 2 dokumentieren die Vor- und Nachteile der Prüfverfahren.

**Tabelle 1** Prüfverfahren zur Bewertung der Holzfestigkeit / des Holzzustandes

	Vorteile	Einschränkungen
<b>Visuelle Begutachtung</b>	Durch visuelle Begutachtung können im Holzbau erfahrene Bauwerksprüfer Schadstellen an der Bauteiloberfläche wie z.B. Durchfeuchtungen, Pilzbefall, Insektenbefall, Risse, strukturelle Schädigungen und Korrosion erkennen.	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ zerstörungsfrei</li> <li>▪ kostengünstig</li> <li>▪ schnell</li> <li>▪ einfach</li> <li>▪ in situ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Schäden im Inneren werden nicht erkannt</li> <li>▪ Prüfergebnisse nicht quantifizierbar</li> <li>▪ subjektive Beurteilung</li> <li>▪ nicht reproduzierbar</li> <li>▪ handnaher Kontakt nötig; Verschalungen müssen ggf. geöffnet werden</li> </ul>
<b>Eindringwiderstand</b>	Durch den Einstich an Verdachtsstellen mit geeigneten Hilfsmitteln (z.B. kleine Schraubendreher, Messer und Ahle) kann der Eindringwiderstand der Holzstruktur überprüft werden. Ein ungewöhnlich geringer Eindringwiderstand deutet auf eine strukturelle Schädigung, z.B. durch Pilzbefall, hin.	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ zerstörungsarm</li> <li>▪ kostengünstig</li> <li>▪ schnell</li> <li>▪ einfach</li> <li>▪ in situ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ nur punktuelle Prüfung</li> <li>▪ Prüfergebnisse nicht quantifizierbar</li> <li>▪ subjektive Beurteilung</li> <li>▪ Prüftiefe gering</li> <li>▪ handnaher Kontakt nötig; Verschalungen müssen ggf. geöffnet werden</li> </ul>
<b>Bohrwiderstandsmessung</b>	Bei der Bohrwiderstandsmessung wird eine spezielle Bohrnadel mit konstanter Vorschubgeschwindigkeit und Drehzahl in das zu untersuchende Holz gebohrt. Dabei wird die Leistungsaufnahme für die erforderliche Schneidarbeit der Bohrnadel über den Bohrweg aufgezeichnet. Sie gibt Aufschluss über den Bohrwiderstand des Holzes und damit über die Struktur des Holzes. Rückschlüsse auf Risse, Schäden, Hohlstellen u.ä. sind daraus möglich.	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ zerstörungsarm</li> <li>▪ Prüfung des Bauteilinneren</li> <li>▪ quantifizierbare Prüfergebnisse</li> <li>▪ in situ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ nur punktuelle Prüfung</li> <li>▪ nur bei begründetem Verdacht effektiv einsetzbar, da ansonsten das Bauteil unnötig geschädigt wird</li> <li>▪ hohes Maß an Expertise für die Interpretation notwendig</li> <li>▪ hoher manueller Zeitaufwand</li> <li>▪ handnaher Kontakt nötig; Verschalungen müssen ggf. geöffnet werden</li> </ul>

**Tabelle 2** Prüfverfahren zur Ermittlung der Holzfeuchte

	Vorteile	Einschränkungen
<b>Widerstandsmessverfahren</b>	Bei der Holzfeuchtemessung nach dem elektrischen Widerstandsmessverfahren [4] wird mit Hilfe von zwei schaftisolierten Einschlagelektroden der elektrische Widerstand zwischen den Elektrodenstippen im Holz ermittelt. In Abhängigkeit von der Temperatur und der Holzart erfolgt die Bestimmung der Holzfeuchte durch Korrelation zum Widerstand. Risse, starke Dichteschwankungen (Äste), Fugen und Einschlüsse im Holz beeinflussen das Messergebnis. Der Messbereich handelsüblicher Messgeräte liegt zwischen 6 M% und 30 M%.	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ zerstörungsarm</li> <li>▪ einfach</li> <li>▪ kostengünstig</li> <li>▪ Messung in verschiedenen Tiefen möglich</li> <li>▪ in situ</li> <li>▪ auch als langfristiges Monitoring möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ nur punktuelle Messung</li> <li>▪ handnaher Kontakt nötig; Verschalungen müssen ggf. geöffnet werden</li> </ul>
<b>Kapazitives Messverfahren</b>	Die Holzfeuchte kann durch das kapazitive (dielektrische) Messverfahren [5] abgeschätzt werden. Das Verfahren ist für Feuchtegehalte zwischen 7 M% und 30 M% geeignet. Dichteschwankungen, Holzfeuchteverteilung, Risse, Oberflächenprofilierungen, Holzschutzmittel und Oberflächenbeschichtungen beeinflussen das Messergebnis signifikant.	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ zerstörungsfrei</li> <li>▪ in situ</li> <li>▪ kostengünstig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ punktuelle Messung</li> <li>▪ signifikanter Einfluss der Holzstruktur auf die Messergebnisse</li> <li>▪ handnaher Kontakt nötig; Verschalungen ggf. abnehmen</li> </ul>
<b>Darrverfahren</b>	Beim Darrverfahren wird die Holzfeuchte durch die Masseänderung des Probekörpers vor und nach der Darrtrocknung ermittelt [6]. Dafür wird ein Probekörper definierter Größe entnommen, luftdicht verpackt und im Labor darrgetrocknet. Über die Massedifferenz lässt sich der Feuchtegehalt exakt bestimmen.	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ genaues Verfahren</li> <li>▪ einfach</li> <li>▪ kostengünstig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ zerstörend (Probenentnahme erforderlich)</li> <li>▪ nur punktuelle Messung</li> <li>▪ handnaher Kontakt nötig; Verschalungen müssen ggf. geöffnet werden</li> </ul>



Aufgrund der zellulären Struktur des Materials sind Ultraschalluntersuchungen an Holz derzeit nicht zuverlässig möglich. Durchstrahlungsverfahren (z. B. Röntgen), Infrarotthermografie und Radarverfahren wurden in verschiedenen Forschungsprojekten für ihre Eignung zur Untersuchung von Holz getestet. Ihr Einsatz erfordert eine hohe Expertise, Messgeräte sind häufig teuer und nur unter Laborbedingungen anwendbar. Eine praxistaugliche Einführung steht bisher aus.

## 5 Schadensbewertung

Die Bewertung der Dauerhaftigkeit ist bei Holzbrücken von großer Bedeutung, da die Schäden infolge Feuchte, Pilz- und Insektenbefall innerhalb kurzer Zeit zu massiver Schädigung der Bausubstanz und in der Folge zum Verlust der Standsicherheit führen können.

Eine großflächige Durchfeuchtung tragender Holzbauteile infolge Bewitterung, Schäden an der Abdichtung oder feuchter Ablagerungen ist mit der Note 4 in der Kategorie „D“ zu bewerten. Beschädigte Abdichtungen und Schutzkonstruktionen (z. B. Verschalungen) müssen kurzfristig instandgesetzt werden.

Bei Pilzscha den müssen Schadensart und -umfang ermittelt werden. Instandsetzungen durch Bekämpfungs- und Schutzmaßnahmen nach DIN 68800-4 [7] sind kurzfristig durchzuführen. Die an den Befallsbereich angrenzenden Bauteile sind zu kontrollieren und vor dem Übergang des Befalls zu schützen.

Bei Schäden durch Insekten ist zwischen aktivem Befall und Altschaden zu unterscheiden. Bei einem Schaden ist der verbleibende Restquerschnitt zu prüfen und zu bewerten. Ist der Restquerschnitt statisch ausreichend, sind bei einem Altschaden keine weiteren Maßnahmen (Bekämpfung) notwendig. Die Schutzmaßnahmen (Abdeckung, Verschalung, Abdichtung) müssen unverzüglich wiederhergestellt werden. Bei aktivem Befall müssen Bekämpfungs- und Schutzmaßnahmen nach DIN 68800-4 [7] kurzfristig durchgeführt werden.

Risse im Holz können die Tragfähigkeit sowie die Dauerhaftigkeit negativ beeinflussen. Zunächst sind die Ursachen für die Risse zu beurteilen: Schwindriss, statische Überlastung, Schub, Querkzug aus Lasten, Querkzug aus Zwängung (Behinderung von Quellen und Schwinden), Fehlverklebung. Die Auswirkung der Risse auf die Standsicherheit und Dauerhaftigkeit sind für das Bauteil zu bewerten.

## Literatur

- [1] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten RI-ERH-ING – Leitfaden Objektbezogene Schadensanalyse OSA. 19.12.2007
- [2] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Anweisungen Straßeninformationsbank für Ingenieurbauten, Teilsystem Bauwerksdaten(ASB-ING), 2013
- [3] DIN 1076 – Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung. Deutsche Norm, 11-1999
- [4] DIN EN 13183-2 – Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz, Teil 2: Schätzung durch elektrisches Widerstands-Messverfahren. Deutsche Norm, 07-2002
- [5] DIN EN 13183-3 – Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz, Teil 3: Schätzung durch kapazitives Messverfahren. Deutsche Norm, 06-2005
- [6] DIN EN 13183-1 – Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz, Teil 1: Bestimmung durch Darrverfahren. Deutsche Norm, 07-2002
- [7] DIN 68800-4 – Holzschutz, Teil 4: Bekämpfungs- und Sanierungsmaßnahmen gegen Holz zerstörende Pilze und Insekten. Deutsche Norm, 02-2012

# **Anlage H**

## **Auswertung Monitoring**

# Feuchtemonitoring an neun geschützten Holzbrücken in Deutschland

## Verfasser

Die Planung, Durchführung und Auswertung des Feuchtemonitorings an neun geschützten Holzbrücken erfolgte im Rahmen des Forschungsprojektes „Entwicklung einheitlicher Richtlinien für den Entwurf, den Bau, die Überwachung und Prüfung geschützter Holzbrücken – Protected Timber Bridges (ProTimB)“. Das Projekt wurde finanziert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung, den Firmen der Qualitätsgemeinschaft Holzbrückenbau e.V. und dem Ingenieurbüro Setzpfandt Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG.

Projektleitung und Forscherteam:

Prof. Dr.-Ing. Antje Simon	Fachhochschule Erfurt
Prof. Dr.-Ing. Ralf Arndt	Fachhochschule Erfurt
Dr.-Ing. Markus Jahreis	Fachhochschule Erfurt
Johannes Koch	Fachhochschule Erfurt

## Inhaltsverzeichnis

1	Ziel .....	2
2	Untersuchte Bauwerke .....	2
3	Messmethode und Messgeräte .....	3
3.1	Holzfeuchtebestimmung anhand der elektrischen Widerstandsmessmethode .....	3
3.2	Aufzeichnung der Bauteiltemperatur .....	4
3.3	Aufzeichnung des Klimas und Ermittlung der Ausgleichsfeuchte .....	4
3.4	Messgeräte .....	4
4	Applikation der Messgeräte .....	5
5	Ergebnisse und Diskussion .....	7
5.1	Funktionsfähigkeit des konstruktiven Holzschutzes .....	7
5.2	Einfluss eines Gewässers auf die Holzfeuchteentwicklung .....	8
5.3	Einfluss von Sprühnebel auf die Holzfeuchteentwicklung .....	9
6	Zusammenfassung und Ausblick .....	9
7	Literatur .....	10
	Anhang A – Dokumentation der untersuchten Bauwerke	
	Anhang B – Installationspläne	
	Anhang C – Ergebnisse der Monitorings	

## 1 Ziel

Im Rahmen des Forschungsprojektes „ProTimB“ wurde die Holzfeuchteentwicklung an neun geschützten Holzbrücken in Deutschland über einen Zeitraum von 2,5 bis 3,8 Jahren aufgezeichnet und ausgewertet. Die Durchführung des Monitorings erfolgte mit dem Ziel der Untersuchung folgender Aspekte:

- Überprüfung der Funktionsfähigkeit der Maßnahmen des konstruktiven Holzschutzes
- Einfluss der Gewässernähe auf die Dauerhaftigkeit geschützter Holzbrücken
- Einfluss von Sprühnebel auf die Dauerhaftigkeit geschützter Holzbrücken

Im Folgenden werden Konzept, Durchführung und Auswertung des Feuchtemonitorings erläutert.

## 2 Untersuchte Bauwerke

Für das Monitoring wurden neun geschützte Holzbrücken in verschiedenen Teilen Deutschlands ausgewählt (Abbildung 1). Als Holz-Beton-Verbund- (HBV), Deck-, Trog-, Bogen- und Fachwerkbrücken repräsentieren die einbezogenen Bauwerke die Bandbreite der relevanten Konstruktionstypen (Abbildung 2). Das Haupttragsystem sämtlicher Brücken ist durch konstruktive Maßnahmen vor direkter Bewitterung geschützt. Anhand der Messdaten kann die Wirksamkeit der verschiedenen Maßnahmen des konstruktiven Holzschutzes beurteilt werden. Alle Brücken führen über ein Fließgewässer, um den Einfluss der Gewässernähe auf die Holzfeuchteentwicklung quantifizieren zu können. Ein Bauwerk unterliegt zusätzlich der Sprühnebelexposition einer Bundesstraße. Weitere Bauwerksinformationen können Anhang A entnommen werden.

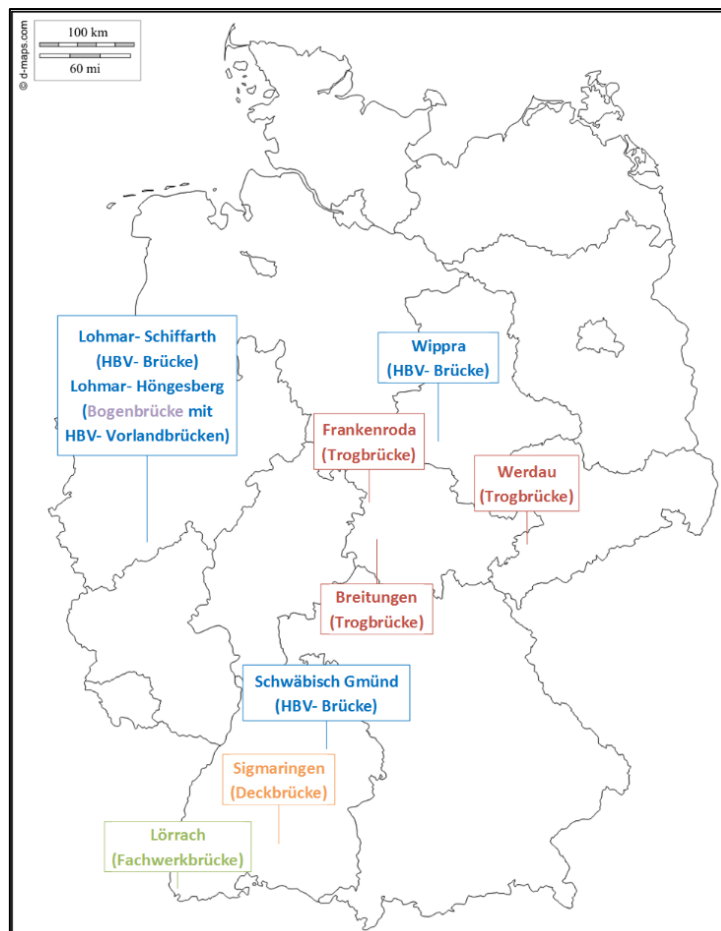


Abbildung 1: Brückenstandorte und Konstruktionstypen

Die erste Brücke wurde im August 2015 in Lohmar Höngesberg mit einem Messsystem ausgestattet. Im Oktober und November 2016 erfolgte die Installation der Messsysteme an den anderen acht Bauwerken.

An der Brücke über die Wiese in Lörrach wurde unabhängig von ProTimB ein zusätzliches Monitoringsystem im Februar 2018 als Ergänzung zum bereits installierten System eingebaut. Eine Erweiterung dieses zweiten Systems wurde im März 2019 vorgenommen. Die Messdaten des zweiten Systems sind im vorliegenden Bericht ebenfalls enthalten.

Mit Beendigung des Forschungsprojektes ProTimB wurden im Mai und Juni 2019 an fünf Brücken die Messsysteme zurück gebaut. Zum Ausbau der wissenschaftlichen Datenbasis wird in Abstimmung mit den jeweiligen Bauherren an den Brücken Lohmar-Höngesberg, Wippra, Breitungen und Lörrach die Holzfeuchteüberwachung fortgeführt.

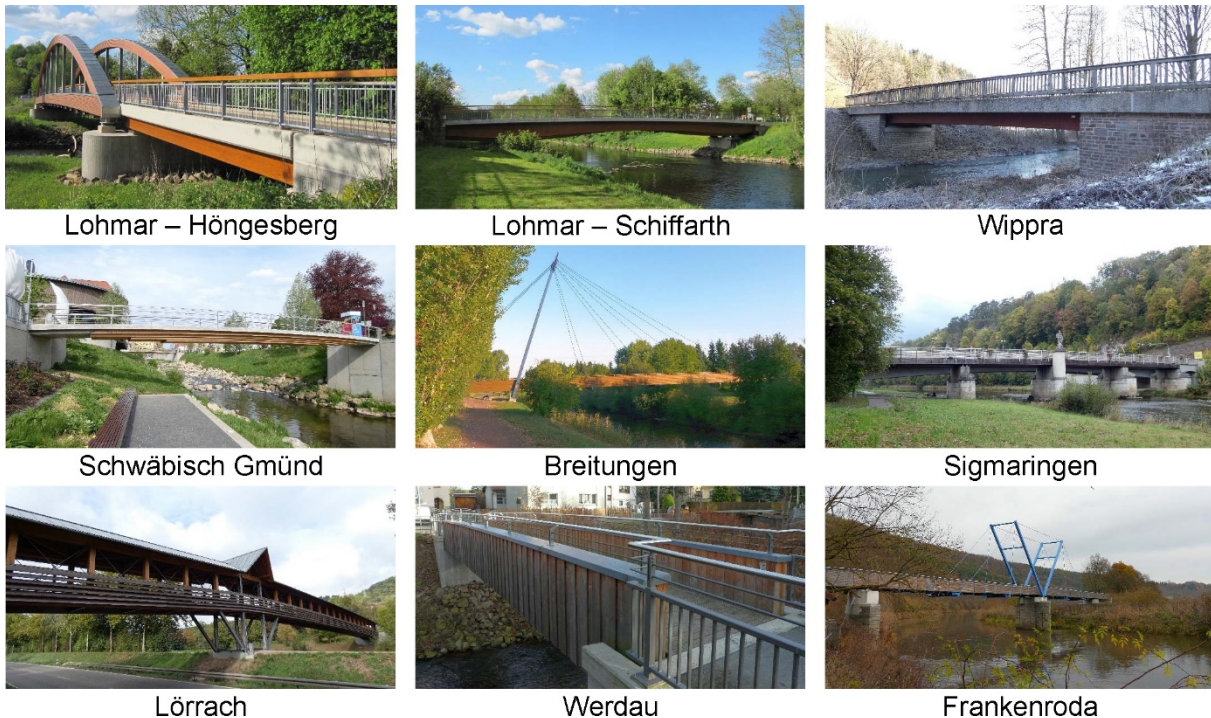


Abbildung 2: Übersicht zu den untersuchten Bauwerken

### 3 Messmethode und Messgeräte

#### 3.1 Holzfeuchtebestimmung anhand der elektrischen Widerstandsmessmethode

Die Bestimmung der Holzfeuchte basiert auf dem Prinzip der elektrischen Widerstandsmessmethode. Dazu wird über zwei Elektroden eine Spannung am Holz angelegt und der elektrische Widerstand gemessen. Dieser Widerstand korreliert mit der Holzfeuchte. Die Vorgehensweise zur Abschätzung des Feuchtegehaltes für Schnittholz nach diesem Verfahren ist genormt [1]. Die Holzfeuchte wird stets auf die Masse des darr getrockneten Holzes bezogen und daher in der Einheit Masseprozent (M%) angegeben.

Der elektrische Widerstand definiert, welche elektrische Spannung erforderlich ist, um einen bestimmten elektrischen Strom durch einen elektrischen Leiter fließen zu lassen. Nach dem Ohm'schen Gesetz kann durch Messung des Spannungsabfalls bei gleichbleibender Stromstärke der Widerstand eines elektrischen Leiters bestimmt werden. Darrgetrocknetes Holz ist ein Isolator. Wird Wasser aufgenommen, steigt die Leitfähigkeit mit zunehmendem Wassergehalt an. Der Zusammenhang zwischen elektrischem Widerstand und Holzfeuchte kann durch experimentelle Ermittlung von Referenzkurven beschrieben werden.

Da Holzinhaltsstoffe die Leitfähigkeit beeinflussen, muss für jede Holzart eine eigene Referenzkurve vorliegen. Bei den hier beschriebenen Bauwerken sind die meisten der untersuchten Bauteile aus Fichtenholz (*Picea abies*) gefertigt. Lediglich an den Brücken Breitungen und Werdau bestehen die untersuchten Haupttragelemente aus Lärchenholz (*Larix decidua*).

Auch die Bauteiltemperatur beeinflusst die Messung [2]. Deshalb ist die Aufzeichnung der Holztemperatur und eine anschließende Kompensation der ermittelten Rohdaten der Holzfeuchte erforderlich.

Weiterhin beeinflussen auch Dichteunterschiede, Äste, Risse, Harzeinschlüsse, Klebefugen, Keilzinkenstößen u. ä. den Stromfluss zwischen den Elektroden und damit das Messergebnis. An den Brücken wurden die Elektroden so platziert, dass derartige Störungen so weit wie möglich vermieden wurden. Ganz ausgeschlossen werden können diese Einflüsse jedoch nicht, da Holzfehler, Äste u. ä. an der Holzoberfläche ggf. nicht sichtbar, im Bereich der Elektroden spitzen in der Tiefe des Bauteils jedoch vorhanden sind.

### 3.2 Aufzeichnung der Bauteiltemperatur

Die Temperatur der Bauteile wurde im Bereich der Feuchtemessstellen für die erforderliche Temperaturkompensation der Rohdaten der Holzfeuchte aufgezeichnet. Dies erfolgte mittels NTC-Temperatursensoren, welche auch als Heißleiter bezeichnet werden.

### 3.3 Aufzeichnung des Klimas und Ermittlung der Ausgleichsfeuchte

Ergänzend zur Holzfeuchte wurde auch das Umgebungsklima aufgezeichnet. Hierzu wurden mit einem kapazitiven Sensor die relative Luftfeuchte und mit einem Bandlückensensor die Lufttemperatur ermittelt.

Aus der gemessenen relativen Luftfeuchte und Lufttemperatur wird die Ausgleichsfeuchte nach dem zweischichtigen Hailwood-Horrobin-Sorptionsmodell [3] mit den Materialparametern von Simpson (1973) [4] berechnet. Die Ausgleichsfeuchte definiert einen theoretischen Feuchtwert an der Bauteiloberfläche. Der Bestimmungsgleichung (1) liegt ein mathematisches Modell für hygroskopische Stoffe zugrunde, das auf der Wasserdampfadsorption in Polymeren basiert und damit für die Zellulose des Holzes gilt.

$$AF = \frac{1800}{M_p} \cdot \left[ \frac{K \cdot h}{1 - K \cdot h} + \frac{K_1 \cdot K \cdot h + 2 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K^2 \cdot h^2}{1 + K_1 \cdot K \cdot h + K_1 \cdot K_2 \cdot K^2 \cdot h^2} \right] \quad (1)$$

In Formel (1) ist AF die Ausgleichsfeuchte,  $M_p$  das Molekulargewicht des Holzes, K,  $K_1$  und  $K_2$  Gleichgewichtskonstanten des hydratisierten und nichthydratisierten Holzes und h die relative Luftfeuchte.  $M_p$ , K,  $K_1$  und  $K_2$  sind abhängig von der Lufttemperatur und der Holzart.

### 3.4 Messgeräte

Für die Monitorings wurden Messgeräte der Firma Scanntronik Mugrauer GmbH verwendet. Die Ermittlung der Holzfeuchte erfolgte mit dem *Materialfeuchte Gigamodul*. Der Messgerätehersteller gibt den Messbereich des Gerätes mit „unter 10 kOhm bis über 100 GOhm“ an, was einer Holzfeuchte von unter 6 M% bis über 90 M% entspricht [6]. Eine Überprüfung der Messgenauigkeit des *Materialfeuchte Gigamoduls* fand im Frühjahr und Herbst 2018 sowie zum Abschluss des Projekts mit Hilfe von Festwiderständen statt.

Das Klima zeichnen kabelgebundene oder Funk übertragende *Thermo-Hygro-Sensoren* auf. Die Fehlertoleranz des Klimasensors gibt der Messgerätehersteller mit  $\pm 1,8 \%$  für die relative Luftfeuchtigkeit und  $\pm 0,3 \text{ °C}$  für die Temperatur an [6]. Die Holzfeuchte- und Klimadaten wurden ebenso wie die Bauteiltemperaturen aus den *externen Temperatur-Sensoren* in Datenloggern *Thermofox Universal* gespeichert.

An acht der neun Brücken konnten die Messdaten mittels Datenfernübertragung per mobilem Internet als E-Mail Anhang in einem wöchentlichen Turnus zur Auswertung versendet werden. Dafür wurde das Gerät *Remotefox* der Firma Scanntronik Mugrauer GmbH verwendet. An der

Birkbergbrücke bei Wippra war die Fernübertragung aufgrund einer mangelnden Netzabdeckung nicht möglich. Die Daten wurden an dieser Brücke etwa halbjährlich manuell ausgelesen.

Sämtliche Messgeräte und Datenlogger verfügten über eine Feuchteschutzlackierung und waren mit den Übertragungsgeräten zentral in einem feuchteisolierten Installationskasten untergebracht (Abbildung 3).



Abbildung 3: Innenansicht eines Installationskastens (li. obere Ebene, re. untere Ebene)

## 4 Applikation der Messgeräte

Die Installation des Monitoringsystems wurde aufgrund der konstruktiven Besonderheiten und speziellen Standortbedingungen für jede der neun Brücken separat angepasst. Im Anhang A sind alle Bauwerke inklusive Fotodokumentation zu den Messstellen beschrieben. Anhang B enthält die Installationspläne der Monitoringsysteme. An jeder Brücke befanden sich zwei bis drei Messstellen, vorrangig an den Haupttragelementen. Zur Verifizierung des Einflusses der Gewässernähe wurde eine Messstelle stets über dem Gewässer und die zweite Messstelle über dem Vorland eingerichtet.

An der Brücke Lörrach befindet sich zusätzlich zu den Messstellen über Gewässer und Vorland eine dritte Messstelle über einer Bundesstraße, um den Einfluss der Sprühnebelexposition zu erfassen. An der Brücke Werdau war eine dritte Messstelle an einem Bohlenbelagsträger eingerichtet worden, um zu untersuchen, ob die Feuchtebelastung dieses unzureichend geschützten Bauteils größer ist als die des konstruktiv geschützten Hauptträgers. In der Regel war jede Messstelle mit zwei bis vier Feuchtemesspunkten, einem Bauteiltemperaturmesspunkt und einem Klimamesspunkt ausgestattet. Abweichend davon wurden an der Birkbergbrücke Wippra ein zusätzlicher Klimamesspunkt über dem Gelände inmitten üppiger Vegetation und, aufgrund der räumlichen Nähe, ein gemeinsamer Klimamesspunkt für Vorland- und Gewässerbereich eingerichtet.

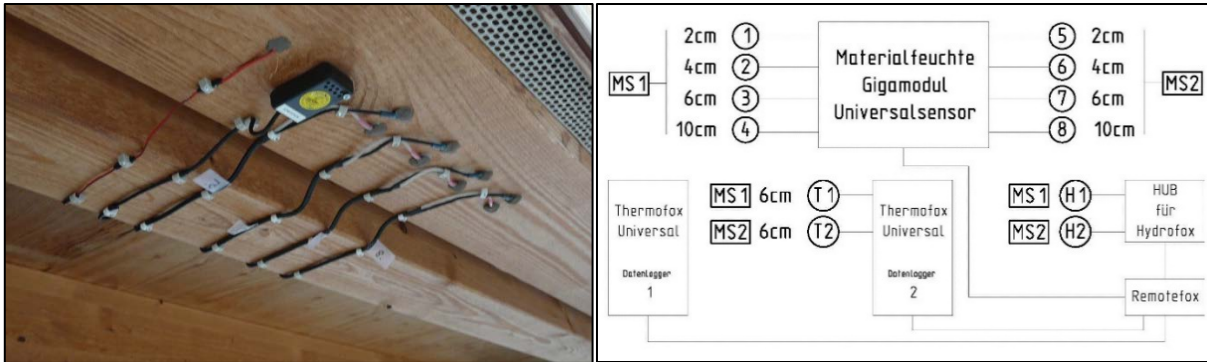


Abbildung 4: Messstelle über dem Gewässer (links) und Schema Messplan (rechts) an der Brücke Frankenroda

Abbildung 4 zeigt den typischen Aufbau einer Messstelle. Als Elektroden für die Holzfeuchtemessung dienten schaftisolierte Edelstahlschrauben. Vier Elektrodenpaare ermittelten in diesem Beispiel den Widerstand in den Messtiefen 2, 4, 6 und 10 cm.

Die Installation der Elektroden bedarf besonderer Sorgfalt, um systematische Messfehler auszuschließen. Es ist darauf zu achten, dass die Isolierung der Schraubenschäfte nicht beschädigt wird und die Elektroden spitzen fest im Holz sitzen. Um einen Austausch der Klimata zwischen Bohrlochinnerem und Außenbereich zu unterbinden, ist das Bohrloch sauber abzudichten. Die Elektrodenköpfe dürfen keinen Kontakt zur Holzoberfläche haben und müssen ebenfalls abgedichtet werden, um Messfehler infolge von Oberflächen-Kriechströmen (z. B. durch Einwirkung von Kondenswasser, Sprühnebel, Verunreinigungen, Salzen oder Spinnweben) zu verhindern [7]. In Abbildung 5 ist ein geöffnetes Modell zu sehen, welches die installierten Elektroden in der Form darstellt, wie sie an den Brücken eingebracht wurden. Abbildung 4 zeigt weiterhin den Bauteiltemperatursensor (rotes Kabel) in einer Messtiefe von 6 cm und den Klimasensor (schwarzes Kunststoffgehäuse).

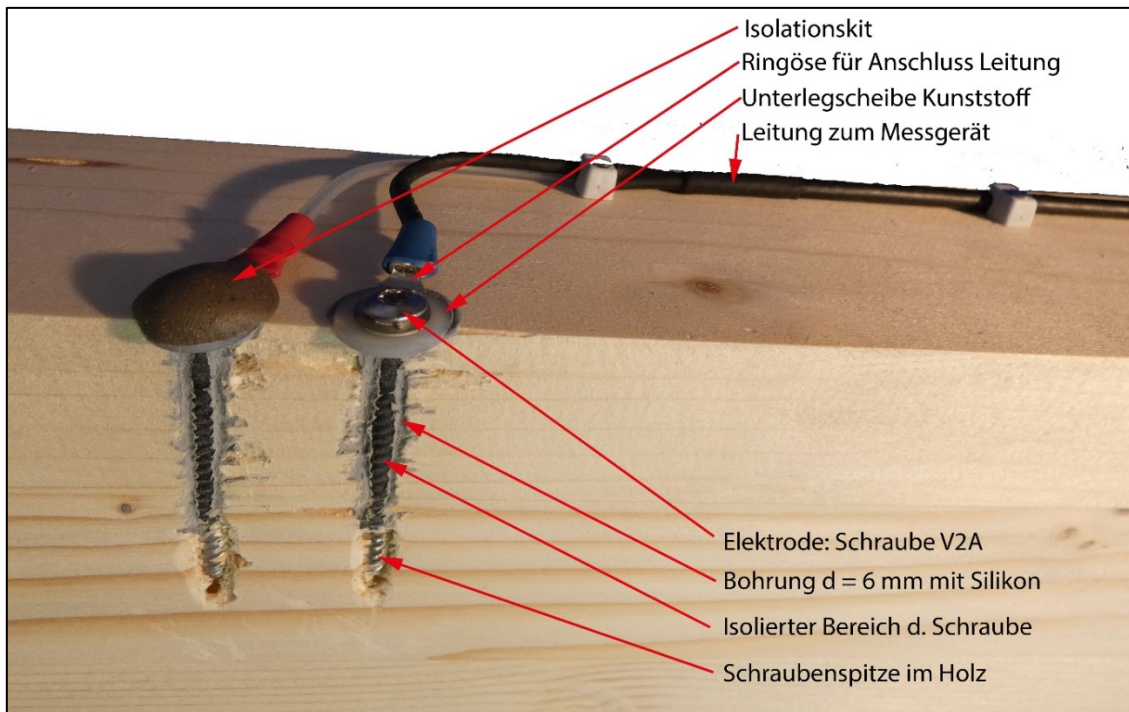


Abbildung 5: Modellhafte Darstellung der installierten Elektroden



## 5 Ergebnisse und Diskussion

### 5.1 Funktionstüchtigkeit des konstruktiven Holzschutzes

Aus Tabelle 1 geht hervor, dass die Holzfeuchte im Messzeitraum an acht der neun Brücken sowohl im Bereich über dem Vorland als auch über dem Gewässer im Mittel weniger als 20 M% betrug.

Tabelle 1: Mittelwerte der Holz- und Ausgleichsfeuchten je Messstelle an den neun Bauwerken

Brücke	Zeitraum	Holzfeuchte über Vorland	Holzfeuchte über Gewässer	Ausgleichs- feuchte ü. Vorland	Ausgleichs- feuchte ü. Gewässer
		[M%]			
Höngesberg	19.08.2015- 18.06.2019	18,1	17,1	16,3	16,5
Schiffarth	21.10.2016- 18.06.2019	16,0	15,9	16,5	15,7
Wippra	13.10.2016- 18.06.2019	18,1	17,7	17,9 <sup>a</sup> (18,8) <sup>b</sup>	
S. Gmünd	28.10.2016- 30.04.2019	15,7	16,1	14,7	15,3
Breitungen	26.10.2016- 27.05.2019	15,8	15,9	16,6	15,9
Sigmaringen	04.11.2016- 14.05.2019	16,6	15,9	16,5	16,4
Lörrach	03.11.2016- 12.06.2019	20,3 (13,8) <sup>c</sup>	21,4 (16,4) <sup>e</sup>	15,6 (14,3) <sup>d</sup>	16,2
Werdau	24.11.2016- 06.06.2019	16,0	15,7	16,3	16,0
Frankenroda	23.11.2016- 27.05.2019	16,5	16,7	16,7	15,9

<sup>a</sup> Ausgleichsfeuchte wird für beide Messstellen (Vorland und Gewässer) aus den Werten von nur einem Klimasensor unter der Brücke berechnet.

<sup>b</sup> Wert in Klammern stellt das Ergebnis der Ausgleichsfeuchteberechnung für die Klimamessstelle über dem Vorland inmitten üppiger Vegetation dar.

<sup>c</sup> Wert in Klammern stellt das Ergebnis der Holzfeuchtemessung für die Messstelle über der Bundesstraße dar.

<sup>d</sup> Wert in Klammern stellt das Ergebnis der Ausgleichsfeuchteberechnung für die Messstelle über der Bundesstraße dar.

<sup>e</sup> Wert in Klammern stellt das Ergebnis der Holzfeuchtemessung für die Messstelle über dem Gewässer dar, welche mit dem zweiten Messsystem eingerichtet wurde.

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 [8], [9]. Da jedoch auch geringere Zeiträume hoher Holzfeuchten zum Pilzwachstum führen können, ist eine genauere Betrachtung der Holzfeuchteentwicklung notwendig.

Bei Betrachtung der einzelnen Diagramme der Bauwerke und Messstellen im Anhang C ist zu erkennen, dass die Holzfeuchte an den Brücken in Lohmar-Schiffarth, Schwäbisch Gmünd, Breitung, Werdau und Frankenroda die Grenze von 20 M% nicht erreichte oder nur sehr kurzzeitig geringfügig überschritt. Im Praxiskommentar zu DIN 68800 [10] wird ein maximaler Zeitraum von vier Monaten angegeben, in dem eine Holzkonstruktion erfahrungsgemäß auch unter einer höheren Feuchtebelastung schadfrei bleibt. Bei den Brücken in Wippra und Sigmaringen wurde die 20 M%-Grenze regelmäßig für einige Wochen im Winter überschritten. Dies ist unkritisch, da der Zeitraum der Überschreitung kürzer als vier Monate war und eine Rücktrocknung im Frühjahr erfolgte.

Einen Sonderfall stellt die Brücke in Lohmar-Höngesberg dar. Gleich zu Beginn der Messungen wurden immer wieder deutliche Überschreitungen der 20 M% Grenze an der Messstelle über dem Vorland festgestellt. Die Ursache hierfür war eine defekte Übergangskonstruktion. Aufgrund des Defektes lief regelmäßig Niederschlagswasser direkt über die Messstelle. Der Bauherr wurde umgehend über den Schaden informiert. Nachdem als kurzfristige Schutzmaßnahme eine zusätzliche Verschalung am Hirnholz angebracht worden war, sanken die Messwerte der Holzfeuchte deutlich. Trotzdem traten auch in den Folgejahren Überschreitungen des Grenzwertes in den Wintermonaten auf. Obwohl auch hier eine Rücktrocknung erfolgte (Diagramm C1), wurde dem Bauherren die Instandsetzung der Fahrbahnübergangskonstruktion dringend empfohlen.

An der Brücke über die Wiese und die Bundesstraße 317 in Lörrach wurden ebenfalls hohe Holzfeuchten festgestellt (Diagramme C15 und C16). Gemäß der aktuellen Normung [11] gilt ein Bauteil als geschützt, sofern Abdeckungen/Dächer mindestens so weit überstehen, dass ein unter 30° einfallender Regen das zu schützende Bauteil nicht erreicht. Trotz vorbildlich geplanter und sorgfältig ausgeführter Holzschutzmaßnahmen in Form eines nach den Regeln der Normung überstehenden Daches und einer seitlichen Lamellenverschalung drang regelmäßig Niederschlag in die Konstruktion ein und verursachte langanhaltend hohe Holzfeuchten. Standortbedingt waren die ergriffenen konstruktiven Holzschutzmaßnahmen mit Einhaltung des 30°-Winkels für den Regeneinfall hier nicht ausreichend. Nach aktuellem Kenntnisstand war die Ursache für den eindringenden Niederschlag eine starke Windströmung, welche orthogonal zur Brückenlängsrichtung im Wiesetal verlief. Der starke Wind trieb den Niederschlag über die Verschalung in die Tragkonstruktion der Brücke. Der auftretende Regeneinfallwinkel war folglich deutlich größer als in der Norm angegeben. Um weitere Bereiche des Tragwerkes überwachen zu können, wurde im Auftrag des Bauherren das Monitoring um ein zweites System erweitert (Diagramm C17). Das neue System zeichnete bisher geringere Feuchtwerte als an den Messstellen des Messsystems I auf.

## 5.2 Einfluss eines Gewässers auf die Holzfeuchteentwicklung

Tabelle 1 zeigt, dass bezogen auf die Durchschnittswerte der Holzfeuchte, an nur einer Brücke Werte oberhalb der 20 M% Grenze ermittelt wurden. Die speziellen, standortbedingten Ursachen hierfür wurden bereits erläutert. Da alle Brücken im Bereich von Gewässern liegen und bis auf eine Abweichung keine erhöhten Holzfeuchten aufweisen, belegen die Messergebnisse, dass sich aus der Gewässernähe keine Gefahr für die Dauerhaftigkeit der Holzkonstruktion ergibt.

Des Weiteren zeigt der Vergleich der Mittelwerte der Holzfeuchten zwischen den Messbereichen über dem Gewässer und über dem Vorland gemäß Tabelle 1, dass die Differenz je nach Brücke maximal rund 1 M% beträgt. Diese Differenz liegt im Bereich der üblichen Messabweichungen der angewandten Messmethode. Auch die Ausgleichsfeuchte, welche aus den gemessenen Klimadaten errechnet wurde, weist eine Differenz zwischen den Messbereichen je nach Brücke von maximal 1 M% auf. Die Messdaten belegen, dass sich an konstruktiv gut geschützten Brücken im Bereich von Gewässern keine kritischen Holzfeuchten (> 20 M%) einstellen.

### 5.3 Einfluss von Sprühnebel auf die Holzfeuchteentwicklung

An der Brücke Lörrach wurden nicht nur Messbereiche über dem Gewässer und dem Vorland eingerichtet, sondern ein weiterer Messbereich über der hochfrequentierten Bundesstraße B 317. Entgegen den Erwartungen ist die Holzfeuchte der Konstruktion trotz Sprühnebelbeaufschlagung infolge des Kraftverkehrs auf der Straße relativ niedrig und geringer als an den anderen Messstellen (vergleiche Tabelle C1 Messstelle MS1 mit Messstellen MS2 und MS3; Diagramm C14).

Eine Ursache hierfür könnte in der Installation der Sensoren liegen. Im Bereich des Gewässers und des Vorlandes befinden sich die Sensoren seitlich im Untergurt, über der Straße wurden die Sensoren von unten eingebracht. Eindringender Schlagregen erreicht vor allem die seitlichen Sensoren, während er vor den von unten eingebrachten Sensoren über der Straße abtropft.

Der Überbau befindet sich zudem etwa 5 m oberhalb des Straßenniveaus. Eine Untersuchung aus der Schweiz [12] zeigt, dass sich der Sprühnebel infolge Kraftverkehr in dieser Höhe kaum noch auf die Holzfeuchte der betrachteten Konstruktion auswirkt. Während der Installation und der Wartung des Monitoringsystems wurde außerdem beobachtet, dass bei hohem Verkehrsaufkommen der Verkehrsfluss verlangsamt und infolgedessen die Sprühnebelbildung deutlich eingeschränkt ist. Weiterhin trägt der regelmäßige Luftstrom, den die Fahrzeuge beim Passieren der Brücke erzeugen, zu einer schnellen Rücktrocknung bei.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Auswertung der Monitoringdaten bestätigt die Wirksamkeit der Maßnahmen des konstruktiven Holzschutzes als Grundvoraussetzung für die Dauerhaftigkeit von Holzbrücken. Die Messwerte der Holzfeuchte lagen bei allen Brücken (mit Ausnahme von Lörrach) im Mittel unter den als kritisch eingestuften 20 M%. Geringfügige Überschreitungen blieben auf kurze Zeiträume in den Wintermonaten beschränkt, ausreichend lange Rücktrocknungsphasen in den Sommermonaten folgten. An den Brücken in Lohmar-Höngesberg und Lörrach wurde nachgewiesen, dass ein Monitoringsystem eine sinnvolle Ergänzung zum Holzschutzkonzept ist. Schäden bzw. Schwachstellen konnten frühzeitig detektiert und infolgedessen behoben werden, bevor gravierende Folgeschäden eingetreten wären. In Auswertung der Erkenntnisse an der Brücke Lörrach sollten in Zukunft standortbezogene Besonderheiten – sofern sie bekannt sind – in die Planung der Holzschutzmaßnahmen einbezogen werden. Bei offenen Fachwerkbrücken sollte die Option einer Erweiterung des konstruktiven Holzschutzes bereits in der Planung statisch und konstruktiv berücksichtigt werden.

Die Auswertung des Monitorings zeigt, dass geschützte Holzbrücken im Bereich von Gewässern keiner besonderen Gefährdung hinsichtlich der Entwicklung kritischer Holzfeuchten unterliegen. Vielmehr deuten die Messergebnisse darauf hin, dass andere Einflussgrößen, wie beispielsweise eine starke Windexposition, umgebende Vegetation, Verschattung, Belüftung etc., relevanter sind. Eine hohe Dauerhaftigkeit wird erzielt, wenn durch konstruktive Schutzmaßnahmen die direkte Bewitterung verhindert und durch eine gute Belüftung des Überbaus eine schnelle Rücktrocknung ermöglicht wird. Ein ausreichender Abstand zum unterführten Gelände (mind. 1,0 m) und das regelmäßige Zurückschneiden der umgebenden Vegetation garantieren die notwendige Luftzirkulation. Weiterhin sind eine regelmäßige Wartung und die turnusmäßige Durchführung der Bauwerksprüfung Voraussetzungen für eine lange Nutzungsdauer der Holzbrücken.

Im Abschnitt 3.2 der RI-EBW-PRÜF [13] wird eine jährliche Hauptprüfung oder eine Gefährdungsanalyse mit Reduzierung der Prüfintervalle für geschützte Holzbrücken im Bereich von Gewässern gefordert. Die Ergebnisse des Monitorings beweisen, dass die Gewässernähe für geschützte Holzbrücken kein erhöhtes Gefährdungspotential darstellt. Auf Basis der Messdatenanalyse wird dringend empfohlen, den entsprechenden Passus der RI-EBW-PRÜF zu überarbeiten, da er geschützte Holzbrücken über Gewässern im Vergleich zu Brücken aus anderen Baustoffen unzulässig benachteiligt. Die jährliche Hauptprüfung ungeschützter Brücken sollte

jedoch weiterhin gefordert werden, da infolge direkter Bewitterung hohe Holzfeuchten und biogener Befall mit gravierenden Tragwerksschädigungen auftreten können.

Die Untersuchungen zum Einfluss von Sprühnebel an einer Brücke lassen keine erhöhte Gefährdung für Holzbauteile im Bereich über einer Straße erkennen, sofern der Abstand zwischen Holzkonstruktion und Fahrbahn ausreichend groß ist. Zur Quantifizierung dieser Exposition werden weiterführende Untersuchungen empfohlen.

## 7 Literatur

- [1] DIN EN 13183-2:2002-07: Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz - Teil 2: Schätzung durch elektrisches Widerstands-Messverfahren; Deutsche Fassung EN 13183-2:2002.
- [2] Keylwerth, R., Noack, D., Über den Einfluß höherer Temperaturen auf die elektrische Holzfeuchtigkeitsmessung nach dem Widerstandsprinzip, Holz als Roh- und Werkstoff, Vol. 14, No. 5, 1956, pp. 162-172.
- [3] Hailwood A. J., Horrobin S.: Absorption of water by polymers: analysis in terms of a simple model. Transactions of the Faraday Society, Volume 42B, pp. 84-92, 1946.
- [4] Simpson W.T.: Prediction equilibrium moisture content of wood by mathematical model. Wood and Fiber, Volume 5, No. 1, pp. 41-49, 1973.
- [5] U. S. Department of Agriculture: Wood Handbook - Agriculture Handbook No. 72, Basic Information on Wood as a material of Construction with Data for its use in design and specification, Forest Products Laboratory, Forest Service, Washington D. C, 1955.
- [6] Internetquelle: <http://www.scantronik.de/> (zuletzt aufgerufen am 25.06.2019)
- [7] Jiang Y., Gamper A., Dietsch P., Oberhardt F., Simon J., Winter S.: Landwirtschaftliche Nutzgebäude in Holzbauweise ohne vorbeugenden chemischen Holzschutz (Gebrauchsklasse 0 (GK 0)) - Besondere bauliche Maßnahmen in Anlehnung an DIN 68800, Zwischenbericht, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, Technische Universität München, 2016.
- [8] Graf, E.; Meili, M.: Holzerstörende Pilze und Insekten - Analyse, Prognose, Bekämpfung. Lignatec: EMPA/LIGNUM-Richtlinie 14, Lignum, Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für das Holz (Hg.), Zürich, 2001.
- [9] Mohrmann, M; Wiegand, T: holzbau handbuch. Informationsdienst Holz (Reihe 5, Teil 2, Folge 1) Holzschutz bei Ingenieurholzbauten. Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. (Hg.), Düsseldorf, 2015.
- [10] Marutzky, R.; Willeitner, H.; Radovic, B.; Hertel, H.; Grosser, D.: Holzschutz - Praxiskommentar zu DIN 68800 Teile 1 bis 4, 2., vollst. überarb. Aufl., Beuth Verl., Berlin, 2013.
- [11] DIN EN 1995-2:2010-12: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 2: Brücken; Deutsche Fassung EN 1995-2:2004.
- [12] Finger, A.; Sell, J.: Bewitterungsversuch an Holzfachwerk. Prüfbericht Nr. 414433, EMPA, Dübendorf, 29. Oktober 2002.
- [13] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 - RI-EBW-PRÜF, Stand 22.02.2017, Berlin, 2017.

## Anhang A – Dokumentation der untersuchten Bauwerke

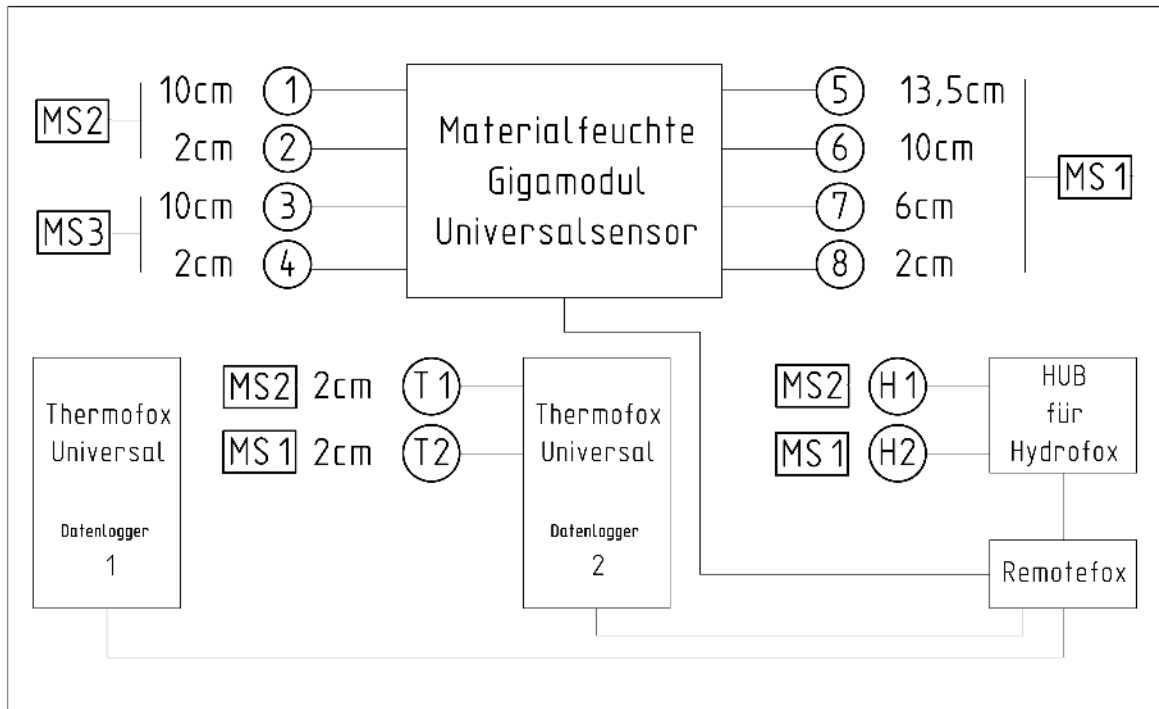
### Inhaltsverzeichnis

Straßenbrücke über die Agger in Lohmar/Höngesberg.....	A-2
Straßenbrücke über die Agger in Lohmar/Schiffarth.....	A-4
Birkbergbrücke (Straßenbrücke) über die Wipper bei Wippra.....	A-6
Rokokobrücke (Geh- und Radwegbrücke) über die Rems in Schwäbisch Gmünd.....	A-8
Geh- und Radwegbrücke über die Werra in Breitung.....	A-10
Nepomukbrücke (Geh- und Radwegbrücke) über die Donau in Sigmaringen.....	A-12
Geh- und Radwegbrücke über die Wiese und die B 317 in Lörrach.....	A-14
Geh- und Radwegbrücke Oberer Anger über die Pleiße in Werdau.....	A-16
Werratal-Radwegbrücke über die Werra zwischen Ebenshausen und Frankenroda.....	A-18

## Straßenbrücke über die Agger in Lohmar/Höngesberg



<b>Ortslage</b>	Höngesberg; Kreuznaaf B484
<b>Baujahr</b>	2014
<b>Statisches System</b>	Bogen- mit 2 Deckbrücken, 3-Feld-System
<b>Brückenart</b>	HBV und Holzbrücke
<b>Funktion</b>	Straßenbrücke
<b>Lage/Hindernis</b>	Bogenbrückenteil über Gewässer (Agger), Vorlandbrücken ü. Gelände
<b>Maße: Länge/Breite</b>	66,50m / 3,00m
<b>Material Tragsystem</b>	Bogen: BSH Fichte GL 32c; Vorland: BSH Fichte GL 28c
<b>Fahr-/Gehbahn</b>	Gussasphalt
<b>Holzschutz</b>	konstruktiv: Titanzinkblech oberseitig; seitliche Verschalung der äußeren Hauptträger mit Lärchenholz
<b>Messstellen (MS)</b>	MS1: Mittleres Brückenfeld (über Gewässer), Unterseite innenliegender Zangenträger MS2: Mittleres Brückenfeld, Unterseite Fahrbahnplatte MS3: nördliches Zwischenlager, Vorlandbrücke, im Hirnholz
<b>Messpunkte, Messtiefe</b>	(FMP: Feuchtemesspunkt; TMP: Temperaturmesspunkt; KMP: Klimamesspunkt) MS1: FMP1: 10cm; FMP2: 2cm; TMP1: 2cm; KMP1: Oberfläche MS2: FMP3: 10cm; FMP4: 2cm; MS3: FMP5: 13,5cm; FMP6: 10cm; FMP7: 6cm; FMP8: 2cm; TMP2: 2cm; KMP2: Oberfläche
<b>Beginn der Messungen</b>	19.08.2015
<b>Messintervall</b>	stündlich
<b>Datenübermittlung</b>	E-Mail, wöchentlich



Schematische Darstellung der Messgeräte und Messstellen



re.: Messstelle MS1; li: Messstelle MS2



Messstelle MS3



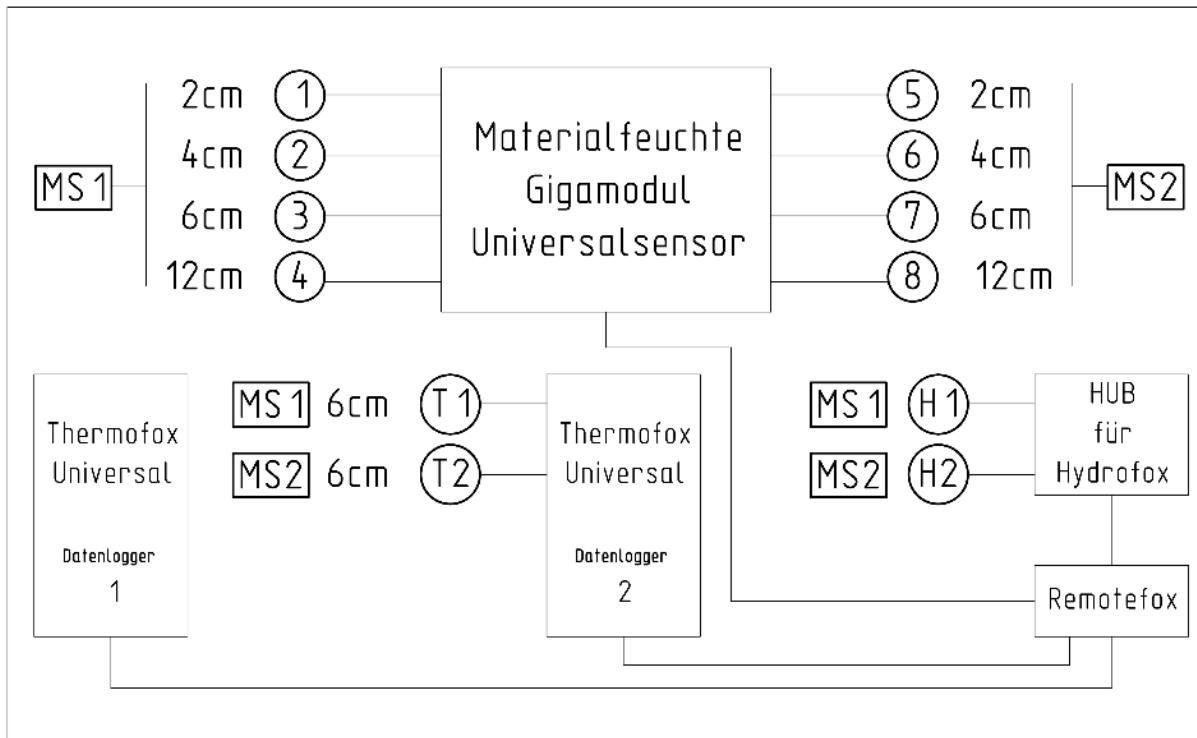
Installationskasten verschlossen

## Straßenbrücke über die Agger in Lohmar/Schiffarth



<b>Ortslage</b>	Schiffarth; Wahlscheid
<b>Baujahr</b>	2014
<b>Statisches System</b>	Deckbrücke, 3-Feld-System
<b>Brückenart</b>	Holz-Beton-Verbund
<b>Funktion</b>	Straßenbrücke
<b>Lage/Hindernis</b>	Außenfelder über Vorland, Mittelfeld über Gewässer (Agger)
<b>Maße: Länge/Breite</b>	39,93m / 4,75m
<b>Material Tragsystem</b>	Längsträger: BSH Fichte GL 32c, abgetrept
<b>Fahr-/Gehbahn</b>	Gussasphalt
<b>Holzschutz</b>	konstruktiv: Überstand der Fahrbahnplatte
<b>Messstellen (MS)</b>	MS1: Vorland, Innenseite Blockträger Oberstrom MS2: Brückenmitte (über Gewässer), Innenseite Blockträger Oberstrom
<b>Messpunkte, Messtiefe</b>	(FMP: Feuchtemesspunkt; TMP: Temperaturmesspunkt; KMP: Klimamesspunkt) MS1: FMP1: 2cm; FMP2: 4cm; FMP3: 6cm; FMP4: 12cm; TMP1: 6cm; KMP1: Oberfläche MS2: FMP5: 2cm; FMP6: 4cm; FMP7: 6cm; FMP8: 12cm TMP2: 6cm; KMP2: Oberfläche
<b>Beginn der Messungen</b>	20.10.2016
<b>Messintervall</b>	stündlich
<b>Datenübermittlung</b>	E-Mail, wöchentlich





Schematische Darstellung der Messgeräte und Messstellen



Messstelle MS1



Messstelle MS2



Installationskasten geöffnet

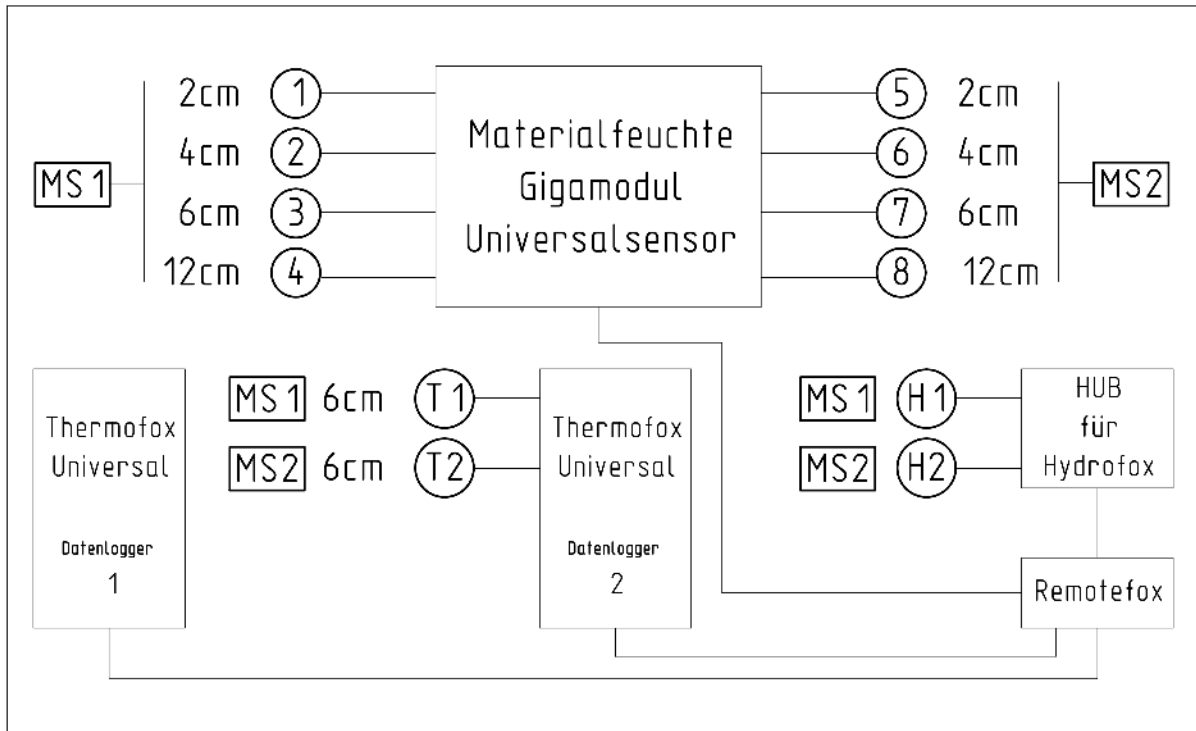


Installationskasten geschlossen

## Birkbergbrücke (Straßenbrücke) über die Wipper bei Wippra



<b>Ortslage</b>	Wippra; Forstweg
<b>Baujahr</b>	2008
<b>Statisches System</b>	Deckbrücke, 1-Feld-System
<b>Brückenart</b>	Holz-Beton-Verbund
<b>Funktion</b>	Straßenbrücke, Forst
<b>Lage/Hindernis</b>	über Gewässer (Wipper)
<b>Maße: Länge/Breite</b>	15,20m / 4,50m
<b>Material Tragsystem</b>	Längsträger: BSH Fichte GL 32h
<b>Fahr-/Gehbahn</b>	Gussasphalt
<b>Holzschutz</b>	konstruktiv: Überstand der Fahrbahnplatte
<b>Messstellen (MS)</b>	MS1: 0,5m vom südl. Auflager, Innenseite Blockträger Oberstrom MS2: 5,5m vom südl. Widerlager (über Gewässer), Innenseite Blockträger Oberstrom MS3: Baum, 5m von Fluss entfernt
<b>Messpunkte, Messtiefe</b>	(FMP: Feuchtemesspunkt; TMP: Temperaturmesspunkt; KMP: Klimamesspunkt) MS1: FMP1: 2cm; FMP2: 4cm; FMP3: 6cm; FMP4: 12cm; TMP1: 6cm MS2: FMP5: 2cm; FMP6: 4cm; FMP7: 6cm; FMP8: 12cm; TMP2: 6cm; KMP1: Oberfläche MS3: KMP2: Oberfläche
<b>Beginn der Messungen</b>	12.10.2016
<b>Messintervall</b>	stündlich
<b>Datenübermittlung</b>	manuell, halbjährlich



Schematische Darstellung der Messgeräte und Messstellen



Messstelle MS1



Messstelle MS2



Messstelle MS3

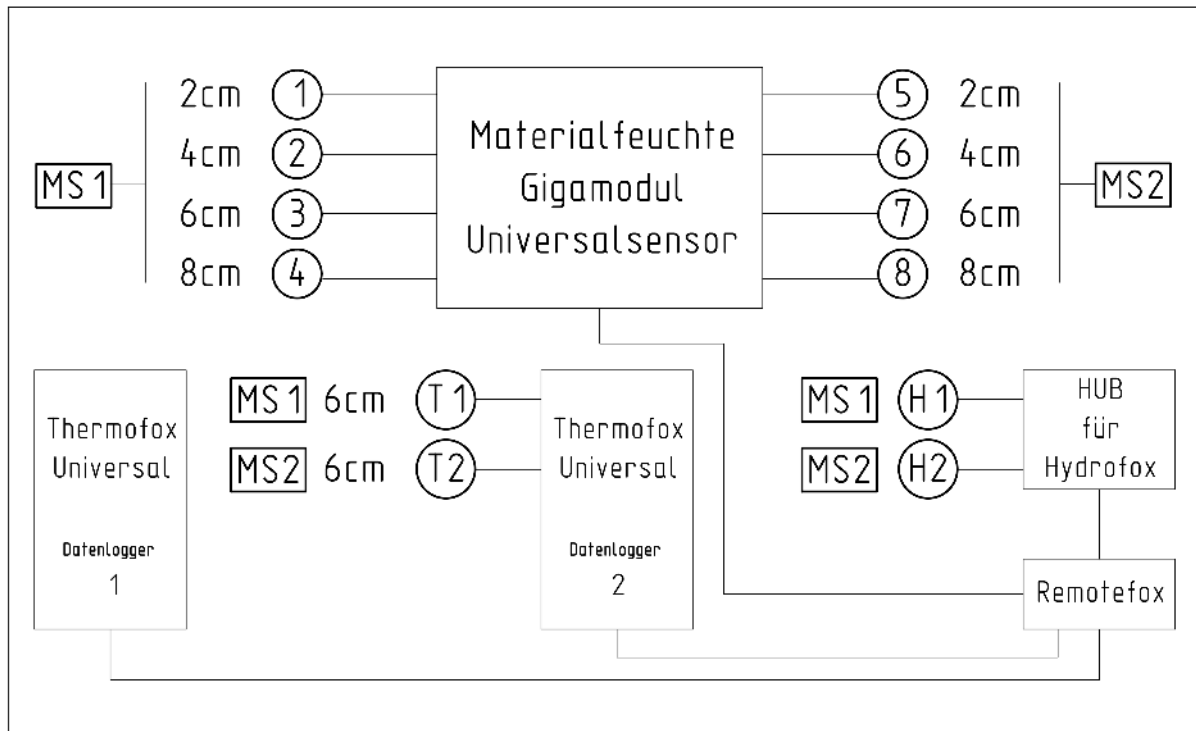


Installationskasten und Messstelle MS1

## Rokokobrücke (Geh- und Radwegbrücke) über die Rems in Schwäbisch Gmünd



<b>Ortslage</b>	Stadtgarten
<b>Baujahr</b>	2012
<b>Statisches System</b>	Deckbrücke, 1-Feld-System
<b>Brückenart</b>	Holz-Beton-Verbund
<b>Funktion</b>	Geh- u. Radwegbrücke
<b>Lage/Hindernis</b>	über Gewässer (Rems)
<b>Maße: Länge/Breite</b>	25,29m / 2,50m
<b>Material Tragsystem</b>	Träger: BSH Fichte GL 32c, abgetrept
<b>Fahr-/Gehbahn</b>	Epoxydharzbeschichtete Stahlbetonplatte
<b>Holzschutz</b>	konstruktiv: Überstand der Fahrbahnplatte
<b>Messstellen (MS)</b>	MS1: Vorland, 3,5m vom nördlichen Widerlager, abgestufter Holzträger Unterstrom MS2: 16m vom nördlichen Widerlager (über Gewässer), abgestufter Holzträger Unterstrom
<b>Messpunkte, Messtiefe</b>	(FMP: Feuchtemesspunkt; TMP: Temperaturmesspunkt; KMP: Klimamesspunkt) MS1: FMP1: 2cm; FMP2: 4cm; FMP3: 6cm; FMP4: 8cm TMP1: 6cm; KMP1: Oberfläche MS2: FMP5: 2cm; FMP6: 4cm; FMP7: 6cm; FMP8: 8cm TMP2: 6cm; KMP2: Oberfläche
<b>Beginn der Messungen</b>	27.10.2016
<b>Messintervall</b>	stündlich
<b>Datenübermittlung</b>	E-Mail, wöchentlich



Schematische Darstellung der Messgeräte und Messstellen



Messstelle MS1



Messstelle MS2

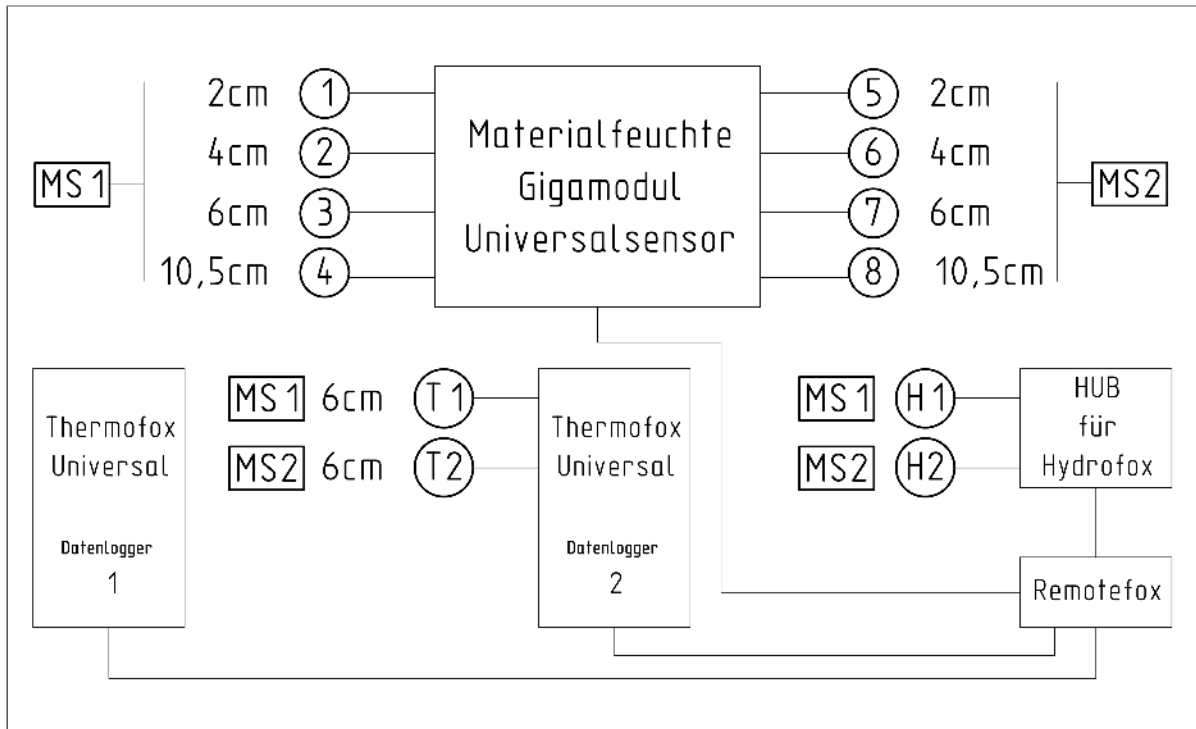


Installationskasten geöffnet

## Geh- und Radwegbrücke über die Werra in Breitungen



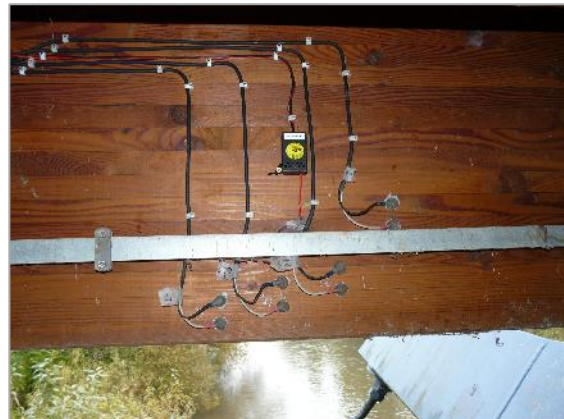
<b>Ortslage</b>	Jugendfreizeitplatz; Nürnberger Straße
<b>Baujahr</b>	2002
<b>Statisches System</b>	Pylonbrücke, Trogbrücke, 3-Feld-System
<b>Brückenart</b>	Holzbrücke
<b>Funktion</b>	Geh- u. Radwegbrücke
<b>Lage/Hindernis</b>	Außenfelder über Vorland, Mittelfeld über Gewässer (Werra)
<b>Maße: Länge/Breite</b>	74,20m / 2,50m
<b>Material Tragsystem</b>	Träger: BSH Lärche GL 14h
<b>Fahr-/Gehbahn</b>	offener Bohlenbelag, LH Eiche
<b>Holzschutz</b>	konstruktiv: Verblendung der Hauptträger durch NH Brettschalung aus Lärche
<b>Messstellen (MS)</b>	MS1: Vorland, 13m vom nordöstl. Widerlager, Innenseite Hauptträger Oberstrom MS2: Brückenmittelfeld (über Gewässer), 39m vom nordöstl. Widerlager, Innenseite Hauptträger Oberstrom
<b>Messpunkte, Messtiefe</b>	(FMP: Feuchtemesspunkt; TMP: Temperaturmesspunkt; KMP: Klimamesspunkt) MS1: FMP1: 2cm; FMP2: 4cm; FMP3: 6cm; FMP4: 10,5cm TMP1: 6cm; KMP1: Oberfläche MS2: FMP5: 2cm; FMP6: 4cm; FMP7: 6cm; FMP8: 10,5cm TMP2: 6cm; KMP2: Oberfläche
<b>Beginn der Messungen</b>	25.10.2016
<b>Messintervall</b>	stündlich
<b>Datenübermittlung</b>	E-Mail, wöchentlich



Schematische Darstellung der Messgeräte und Messstellen



Messstelle MS1



Messstelle MS2



Installationskasten verschlossen



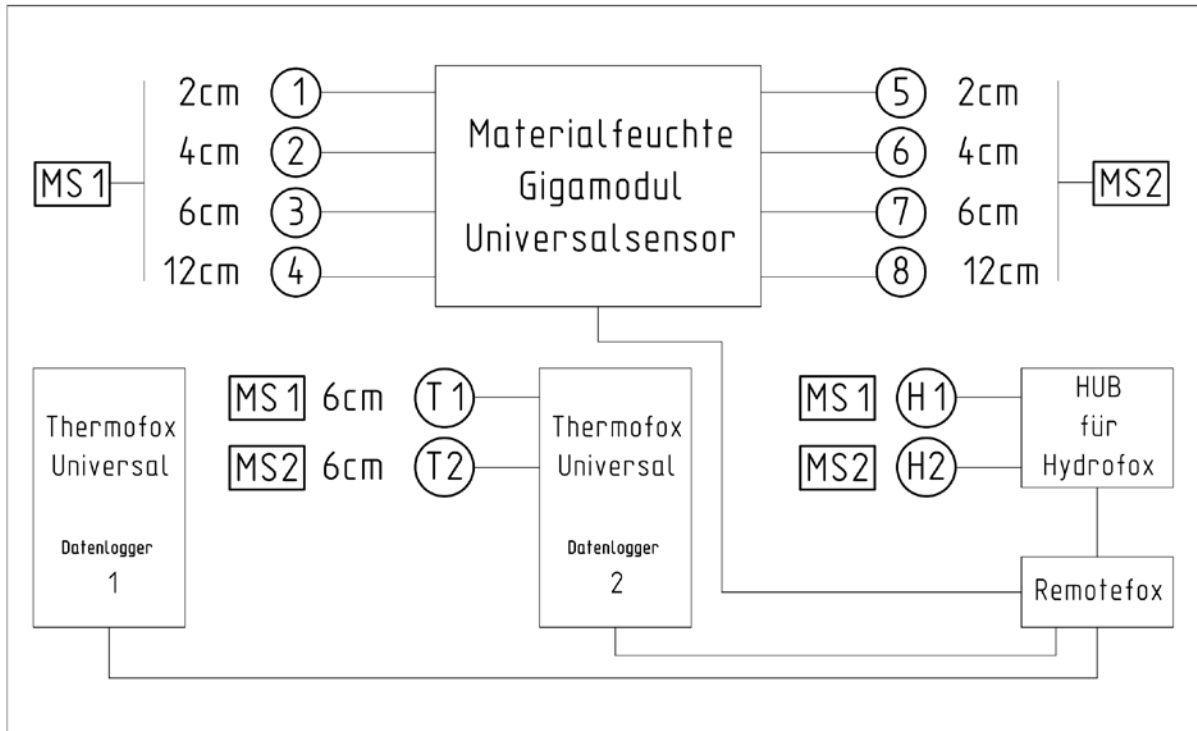
Installationskasten geöffnet

## Nepomukbrücke (Geh- und Radwegbrücke) über die Donau in Sigmaringen



<b>Ortslage</b>	B32; Zentrum
<b>Baujahr</b>	1997
<b>Statisches System</b>	Deckbrücke, 4-Feld-System
<b>Brückenart</b>	Holzbrücke
<b>Funktion</b>	Geh- u. Radwegbrücke
<b>Lage/Hindernis</b>	südl Außenfeld über Vorland, 3 Felder über Gewässer (Donau)
<b>Maße: Länge/Breite</b>	61,40m / 5,70m
<b>Material Tragsystem</b>	Träger: BSH Fichte
<b>Fahr-/Gehbahn</b>	Seit 2012 Gussasphalt
<b>Holzschutz</b>	konstruktiv: seitliche Verschalung der äußeren Hauptträger, Rotkernholz
<b>Messstellen (MS)</b>	MS1: 1m südl. mittlerer Brückenpfeiler (über Gewässer), Innenseite Träger Unterstrom MS2: 2m nördl. vom südl. Widerlager, Innenseite Träger Unterstrom
<b>Messpunkte, Messtiefe</b>	(FMP: Feuchtemesspunkt; TMP: Temperaturmesspunkt; KMP: Klimamesspunkt) MS1: FMP1: 2cm; FMP2: 4cm; FMP3: 6cm; FMP4: 12cm TMP1: 6cm; KMP1: Oberfläche MS2: FMP5: 2cm; FMP6: 4cm; FMP7: 6cm; FMP8: 12cm TMP2: 6cm; KMP2: Oberfläche
<b>Beginn der Messungen</b>	03.11.2016
<b>Messintervall</b>	stündlich
<b>Datenübermittlung</b>	E-Mail, wöchentlich





Schematische Darstellung der Messgeräte und Messstellen



Messstelle MS1



Messstelle MS2

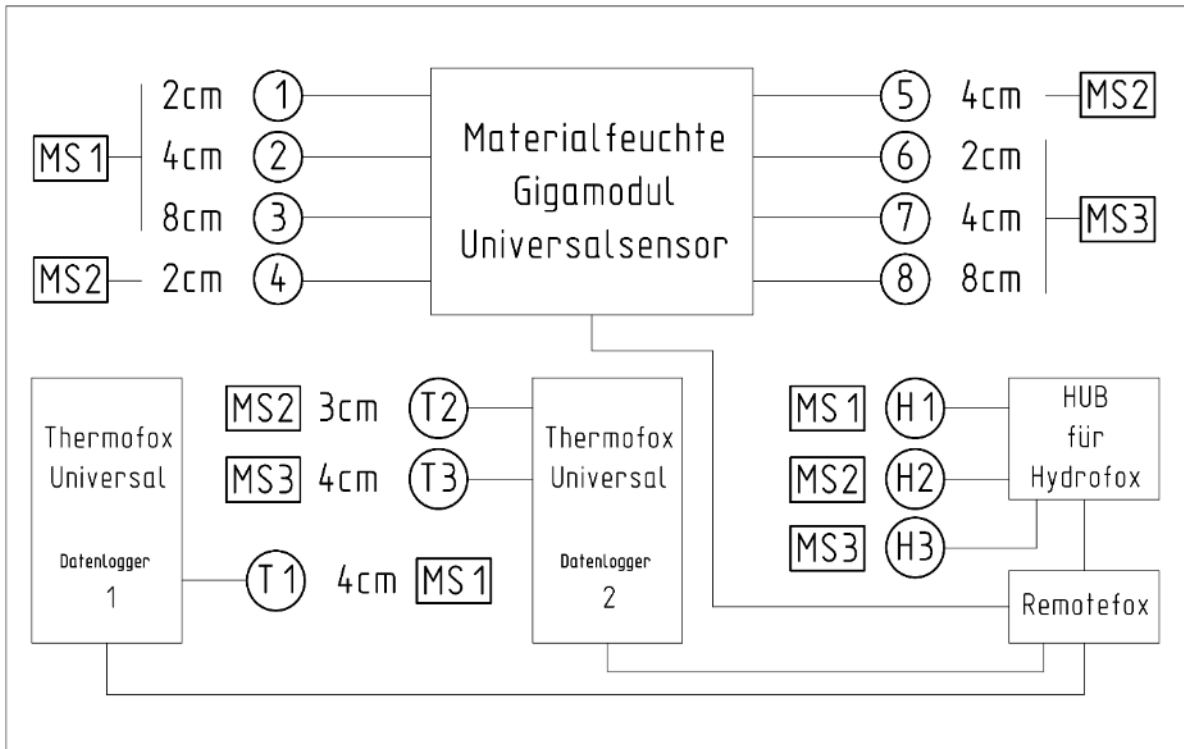


Installationskasten geöffnet

## Geh- und Radwegbrücke über die Wiese und die B 317 in Lörrach



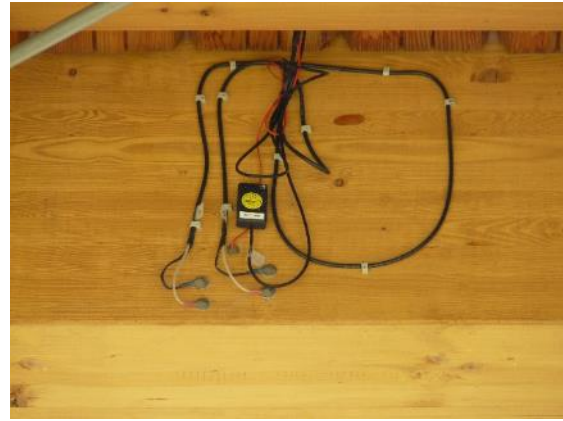
<b>Ortslage</b>	OT Grütt; Röttler-Straße
<b>Baujahr</b>	2016
<b>Statisches System</b>	gedeckte Fachwerk-Brücke als 3-Feld-System
<b>Brückenart</b>	Holzbrücke
<b>Funktion</b>	Geh- u. Radwegbrücke
<b>Lage/Hindernis</b>	südwestl. Brückenfeld über B317, nordöstl. Feld über Gewässer (Wiese)
<b>Maße: Länge/Breite</b>	85,53m / 2,80m
<b>Material Tragsystem</b>	Träger: BSH Fichte
<b>Fahr-/Gehbahn</b>	offener Bohlenbelag, NH Lärche
<b>Holzschutz</b>	konstruktiv: Dachüberstand, seitliche Verschalung der äußeren Hauptträger mit
<b>Messstellen (MS)</b>	MS1: über B317, Oberstrom, Unterseite Untergurt MS2: Vorland, Innenseite Untergurt, nordöstl. Brückenseite, Oberstrom MS3: Gewässer, Innen-seite Untergurt, nordöstl. Brückenseite, Oberstrom
<b>Messpunkte, Messtiefe</b>	(FMP: Feuchtemesspunkt; TMP: Temperaturmesspunkt; KMP: Klimamesspunkt) MS1: FMP1: 2cm; FMP2: 4cm; FMP3: 8cm; TMP1: 4cm; KMP1: Oberfläche MS2: FMP4: 2cm; FMP5: 4cm; TMP2: 3cm; KMP2: Oberfläche MS3: FMP6: 2cm; FMP7: 4cm; FMP8: 8cm; TMP3: 4cm; KMP3: Oberfläche
<b>Beginn der Messungen</b>	02.11.2016
<b>Messintervall</b>	stündlich
<b>Datenübermittlung</b>	E-Mail, wöchentlich



Schematische Darstellung der Messgeräte und Messstellen



Messstelle MS1



Messstelle MS2



Messstelle MS3

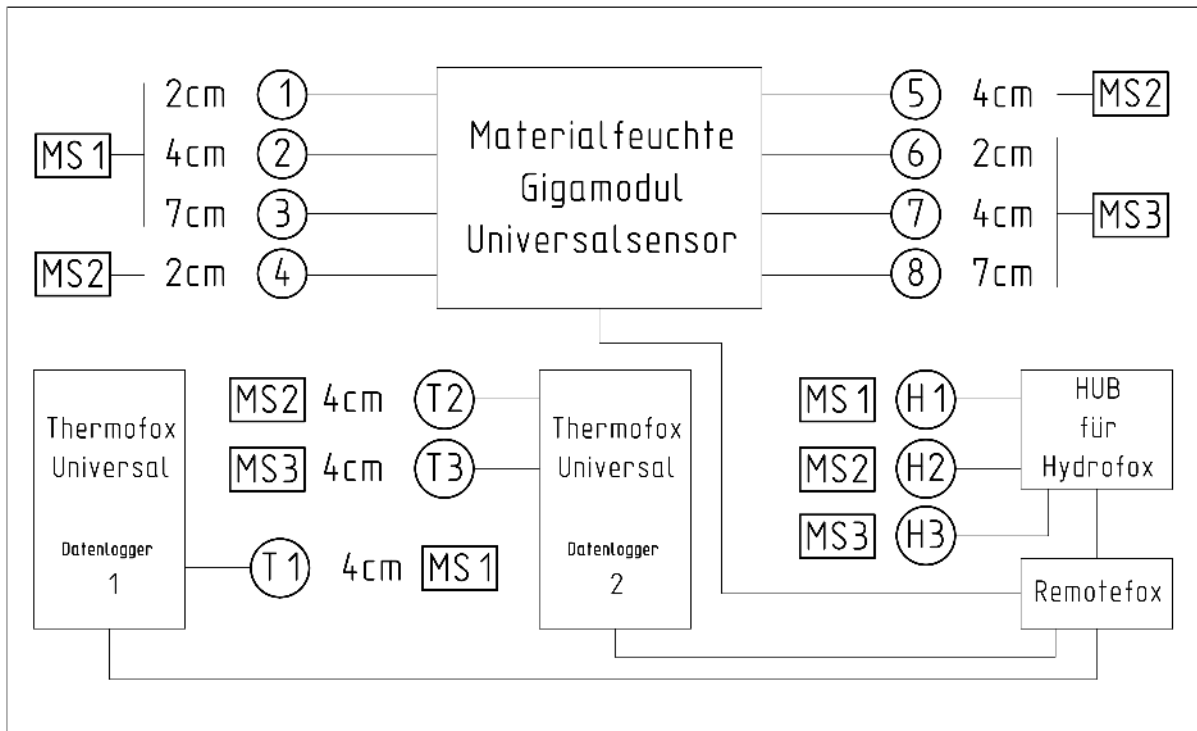


Installationskasten verschlossen

## Geh- und Radwegbrücke Oberer Anger über die Pleiße in Werdau



<b>Ortslage</b>	Oberer Anger; Dorfstraße
<b>Baujahr</b>	2013
<b>Statisches System</b>	Trogbrücke, 1-Feld-System
<b>Brückenart</b>	Holzbrücke
<b>Funktion</b>	Geh- u. Radwegbrücke
<b>Lage/Hindernis</b>	über Gewässer (Pleiße)
<b>Maße: Länge/Breite</b>	16m / 2m
<b>Material Tragsystem</b>	Träger: BSH Lärche
<b>Fahr-/Gehbahn</b>	offener Bohlenbelag, LH Eiche
<b>Holzschutz</b>	konstruktiv: Verblendung der Hauptträger durch NH Brettschalung
<b>Messstellen (MS)</b>	MS1: 1m vom westl. Widerlager, Innenseite nördl. Hauptträger Unterstrom MS2: 1,2m vom westl. Widerlager, Innenseite nördl. Längsträger Unterstrom MS3: Flussmitte, Innenseite nördl. Hauptträger Unterstrom
<b>Messpunkte, Messtiefe</b>	(FMP: Feuchtemesspunkt; TMP: Temperaturmesspunkt; KMP: Klimamesspunkt) MS1: FMP1: 2cm; FMP2: 4cm; FMP3: 7cm; TMP1: 4cm; KMP1: Oberfläche MS2: FMP4: 2cm; FMP5: 4cm; TMP2: 4cm MS3: FMP6: 2cm; FMP7: 4cm; FMP8: 7cm TMP3: 4cm; KMP2: Oberfläche
<b>Beginn der Messungen</b>	23.11.2016
<b>Messintervall</b>	stündlich
<b>Datenübermittlung</b>	E-Mail, wöchentlich



Schematische Darstellung der Messgeräte und Messstellen



unten: Messstelle MS1; oben: Messstelle MS2



Messstelle MS3

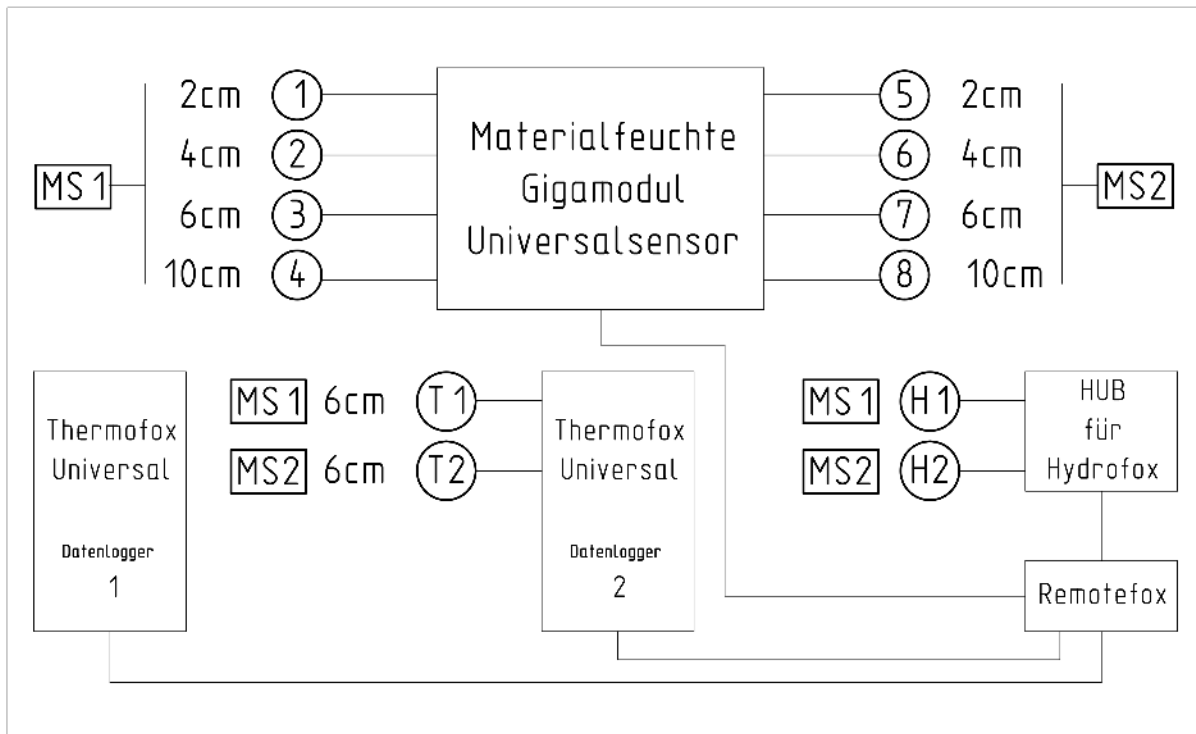


Installationskasten geöffnet

## Werratal-Radwegbrücke über die Werra zwischen Ebenshausen und Frankenroda



<b>Ortslage</b>	Ebenshausen; Frankenroda
<b>Baujahr</b>	2012
<b>Statisches System</b>	Pylonbrücke, Trogbrücke, 4-Feld-System
<b>Brückenart</b>	Holzbrücke
<b>Funktion</b>	Geh- u. Radwegbrücke
<b>Lage/Hindernis</b>	1., 3. und 4. Feld über Vorland, 2. Feld über Gewässer (Werra)
<b>Maße: Länge/Breite</b>	105m / 3m
<b>Material Tragsystem</b>	Träger: BSH Fichte
<b>Fahr-/Gehbahn</b>	Gussasphalt
<b>Holzschutz</b>	konstruktiv: Verblendung der Hauptträger durch Stülpchalung, sibirische Lärche
<b>Messstellen (MS)</b>	MS1: Vorland 2,5m vom östl. Widerlager, Unterseite Hauptträger Unterstrom MS2: 16m vom östl. Widerlager in Brückenmitte (über Gewässer), Unterseite Hauptträger Unterstrom
<b>Messpunkte, Messtiefe</b>	(FMP: Feuchtemesspunkt; TMP: Temperaturmesspunkt; KMP: Klimamesspunkt) MS1: FMP1: 2cm; FMP2: 4cm; FMP3: 6cm; FMP4: 10cm TMP1: 6cm; KMP1: Oberfläche MS2: FMP5: 2cm; FMP6: 4cm; FMP7: 6cm; FMP8: 10cm TMP2: 6cm; KMP2: Oberfläche
<b>Beginn der Messungen</b>	22.11.2016
<b>Messintervall</b>	stündlich
<b>Datenübermittlung</b>	E-Mail, wöchentlich



Schematische Darstellung der Messgeräte und Messstellen



Messstelle MS1



Messstelle MS2



Installationskasten geöffnet



Installationskasten verschlossen

## Anhang B – Installationspläne

### Inhaltsverzeichnis

Installationsplan Straßenbrücke über die Agger in Lohmar/Höngesberg .....	B-2
Installationsplan Straßenbrücke über die Agger in Lohmar/Schiffarth.....	B-3
Installationsplan Birkbergbrücke (Straßenbrücke) über die Wipper bei Wippra.....	B-4
Installationsplan Rokokobrücke (Geh- und Radwegbrücke) über die Rems in Schwäbisch Gmünd .....	B-5
Installationsplan Geh- und Radwegbrücke über die Werra in Breitungon .....	B-6
Installationsplan Nepomukbrücke (Geh- und Radwegbrücke) über die Donau in Sigmaringen .....	B-7
Installationsplan Geh- und Radwegbrücke über die Wiese und die B 317 in Lörrach .....	B-8
Installationsplan Geh- und Radwegbrücke Oberer Anger über die Pleiße in Werdau .....	B-10
Installationsplan Werratal-Radwegbrücke über die Werra zwischen Ebenshausen und Frankenroda.....	B-11

Die Installationspläne stehen den jeweiligen Bauherren der Brücken zur Verfügung, sie werden aus rechtlichen Gründen nicht veröffentlicht.



## Anhang C – Ergebnisse der Monitorings

### Inhaltsverzeichnis

Tabelle C1 Teil 1: Mittel-, Minimal-, und Maximalwerte sowie Varianz je Messpunkt .....	C-2
Tabelle C1 Teil 2: Mittel-, Minimal-, und Maximalwerte sowie Varianz je Messpunkt .....	C-3
Diagramm C1: Straßenbrücke über die Agger in Lohmar/Höngesberg Messstelle 1 .....	C-4
Diagramm C2: Straßenbrücke über die Agger in Lohmar/Höngesberg Messstelle 2 .....	C-5
Diagramm C3: Straßenbrücke über die Agger in Lohmar/Höngesberg Messstelle 3 .....	C-6
Diagramm C4: Straßenbrücke über die Agger in Lohmar/Schiffarth Messstelle 1 .....	C-7
Diagramm C5: Straßenbrücke über die Agger in Lohmar/Schiffarth Messstelle 2 .....	C-8
Diagramm C6: Birkbergbrücke über die Wipper bei Wippra Messstelle 1 .....	C-9
Diagramm C7: Birkbergbrücke über die Wipper bei Wippra Messstelle 2 .....	C-10
Diagramm C8: Rokokobrücke (Geh- und Radwegbrücke) über die Rems in Schwäbisch Gmünd Messstelle 1 .....	C-11
Diagramm C9: Rokokobrücke (Geh- und Radwegbrücke) über die Rems in Schwäbisch Gmünd Messstelle 2 .....	C-12
Diagramm C10: Geh- und Radwegbrücke über die Werra in Breitung Messstelle 1 .....	C-13
Diagramm C11: Geh- und Radwegbrücke über die Werra in Breitung Messstelle 2 .....	C-14
Diagramm C12: Nepomukbrücke (Geh- und Radwegbrücke) über die Donau in Sigmaringen Messstelle 1 .....	C-15
Diagramm C13: Nepomukbrücke (Geh- und Radwegbrücke) über die Donau in Sigmaringen Messstelle 2 .....	C-16
Diagramm C14: Geh- und Radwegbrücke über die Wiese und die B 317 in Lörrach Messsystem I Messstelle 1 .....	C-17
Diagramm C15: Geh- und Radwegbrücke über die Wiese und die B 317 in Lörrach Messsystem I Messstelle 2 .....	C-18
Diagramm C16: Geh- und Radwegbrücke über die Wiese und die B 317 in Lörrach Messsystem I Messstelle 3 .....	C-19
Diagramm C17: Geh- und Radwegbrücke über die Wiese und die B 317 in Lörrach Messsystem II Messbereich Wiese .....	C-20
Diagramm C18: Geh- und Radwegbrücke über die Wiese und die B 317 in Lörrach Messsystem II Messbereich Testfelder .....	C-21
Diagramm C19: Geh- und Radwegbrücke Oberer Anger in Werdau Messstelle 1 .....	C-22
Diagramm C20: Geh- und Radwegbrücke Oberer Anger in Werdau Messstelle 2 .....	C-23
Diagramm C21: Geh- und Radwegbrücke Oberer Anger in Werdau Messstelle 3 .....	C-24
Diagramm C22: Werratal-Radwegbrücke zwischen Ebenshausen und Frankenroda Messstelle 1 .....	C-25
Diagramm C23: Werratal-Radwegbrücke zwischen Ebenshausen und Frankenroda Messstelle 2 .....	C-26

**Feuchtemonitoring an neun geschützten Holzbrücken in Deutschland**

Tabelle C1 Teil 1: Mittel-, Minimal-, und Maximalwerte sowie Varianz je Messpunkt

Brücke	Zeitraum	Mess- stelle	Messtiefe [cm]	Holzfeuchte [Masse-%]			
				Mittel	Min	Max	Varianz
Höngesberg	19.08.2015- 30.06.2019	MS1	2	17,6	15,1	23,8	8,7
			10	16,8	14,6	23,2	8,6
		MS2	2	17,0	13,8	25,4	11,6
			10	17,2	13,9	24,4	10,5
		MS3	2	18,2	14,2	39,3	25,2
			4	19,4	14,7	28,2	13,5
			10	17,9	14,1	27,2	13,1
			13,5	17,1	12,7	25,9	13,1
Schiffarth	21.10.2016- 18.06.2019	MS1	2	16,5	14,2	18,4	4,1
			4	16,5	14,8	18,8	3,9
			6	16,2	14,6	17,8	3,2
			12	14,9	13,6	17,9	4,3
		MS2	2	16,2	14,0	19,5	5,5
			4	16,2	14,3	19,3	5,0
			6	15,9	14,2	18,6	4,4
			12	15,2	13,9	18,7	4,7
Wippra	13.10.2016- 18.06.2019	MS1	2	18,3	15,5	23,0	7,4
			4	18,0	15,6	21,8	6,2
			6	17,9	16,0	21,5	5,4
			12	18,1	16,5	24,0	7,5
		MS2	2	18,1	15,4	23,7	8,3
			4	17,9	15,7	22,4	6,7
			6	17,7	16,0	22,1	6,1
			12	17,1	16,1	19,1	3,0
Schwäbisch Gmünd	28.10.2016- 30.04.2019	MS1	2	15,5	12,6	19,1	6,5
			4	15,5	13,2	18,2	5,1
			6	15,9	13,8	21,2	7,4
			8	15,7	13,9	18,7	4,8
		MS2	2	15,7	11,6	18,4	6,8
			4	16,0	10,8	19,6	8,7
			6	16,7	14,7	21,4	6,7
			8	16,0	12,1	18,6	6,5
Breitungen	26.10.2016- 27.05.2019	MS1	2	15,6	13,0	18,2	5,1
			4	15,4	13,6	17,6	4,0
			6	16,3	14,9	19,2	4,3
			10	16,1	15,0	17,3	2,3
		MS2	2	15,7	13,0	18,4	5,4
			4	15,9	13,0	19,0	6,0
			6	16,1	14,3	18,1	3,8
			10	15,9	14,8	17,6	2,8

**Feuchtemonitoring an neun geschützten Holzbrücken in Deutschland**

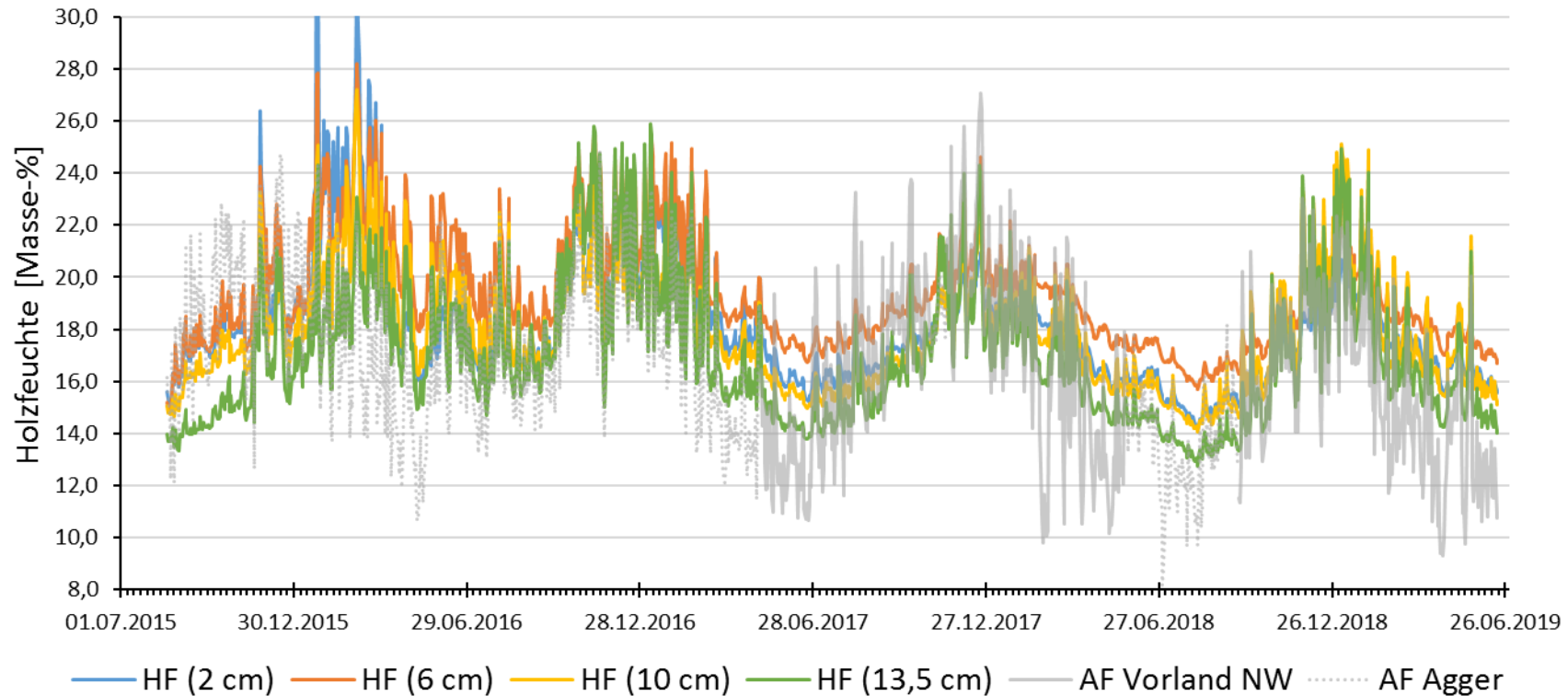
Tabelle C1 Teil 2: Mittel-, Minimal-, und Maximalwerte sowie Varianz je Messpunkt

Brücke	Zeitraum	Mess- stelle	Messtiefe [cm]	Holzfeuchte [Masse-%]			
				Mittel	Min	Max	Varianz
Sigma- ringen	04.11.2016- 14.05.2019	MS1	2	16,8	14,2	22,6	8,4
			4	16,3	14,0	21,4	7,3
			6	16,6	14,4	20,8	6,4
			12	16,8	14,2	20,8	6,6
		MS2	2	16,7	12,6	22,4	9,8
			4	15,6	13,1	18,5	5,4
			6	15,7	12,8	17,6	4,8
			12	15,8	13,2	19,1	5,9
Lörrach Mess- system I	03.11.2016- 12.06.2019	MS1	2	13,6	8,3	19,2	10,9
			4	13,6	7,4	19,0	11,6
			8	14,2	9,3	18,9	9,6
		MS2	2	20,7	14,6	43,7	29,2
			4	19,9	14,4	51,4	37,0
		MS3	2	22,6	14,2	60,1	45,8
			4	20,2	15,1	51,2	36,1
			8	21,3	15,8	62,1	46,3
		Lörrach Messsys- tem II	01.02.2018- 12.06.2019	MBW	5	16,7	14,2
1,5	16,6				12,8	20,0	7,1
5	16,3				14,2	19,3	5,1
15.03.2019- 12.06.2019	BMT		5	16,2	14,2	18,6	4,4
			2,5	15,8	15,2	16,7	1,5
			2,5	16,0	15,4	16,8	1,5
Werdau	24.11.2016- 06.06.2019	MS1	2	15,8	13,6	18,1	4,5
			4	15,8	14,1	17,9	3,8
			7	16,4	14,7	18,4	3,7
		MS2	2	16,2	13,4	19,1	5,7
			4	17,0	14,4	19,4	5,0
		MS3	2	15,5	13,2	18,0	4,8
			4	15,9	12,7	18,5	5,9
			7	15,7	10,0	18,1	8,2
Franken- roda	23.11.2016- 27.05.2019	MS1	2	17,1	13,9	19,6	5,8
			4	16,6	14,2	18,7	4,5
			6	16,3	12,9	18,5	5,5
			10	16,2	8,7	19,2	10,5
		MS2	2	16,7	14,0	19,2	5,2
			4	16,6	14,3	18,8	4,4
			6	16,8	14,4	20,0	5,6
			10	16,6	14,7	19,6	4,8

Diagramm C1: Straßenbrücke über die Agger in Lohmar/Höngesberg Messstelle 1

Messzeitraum: 19.08.2015 - 18.06.2019

Messstelle MS1 über dem Pfeiler auf dem nordwestlichen Vorland im stromabwärts liegenden Hauptträger der Vorlandbrücke



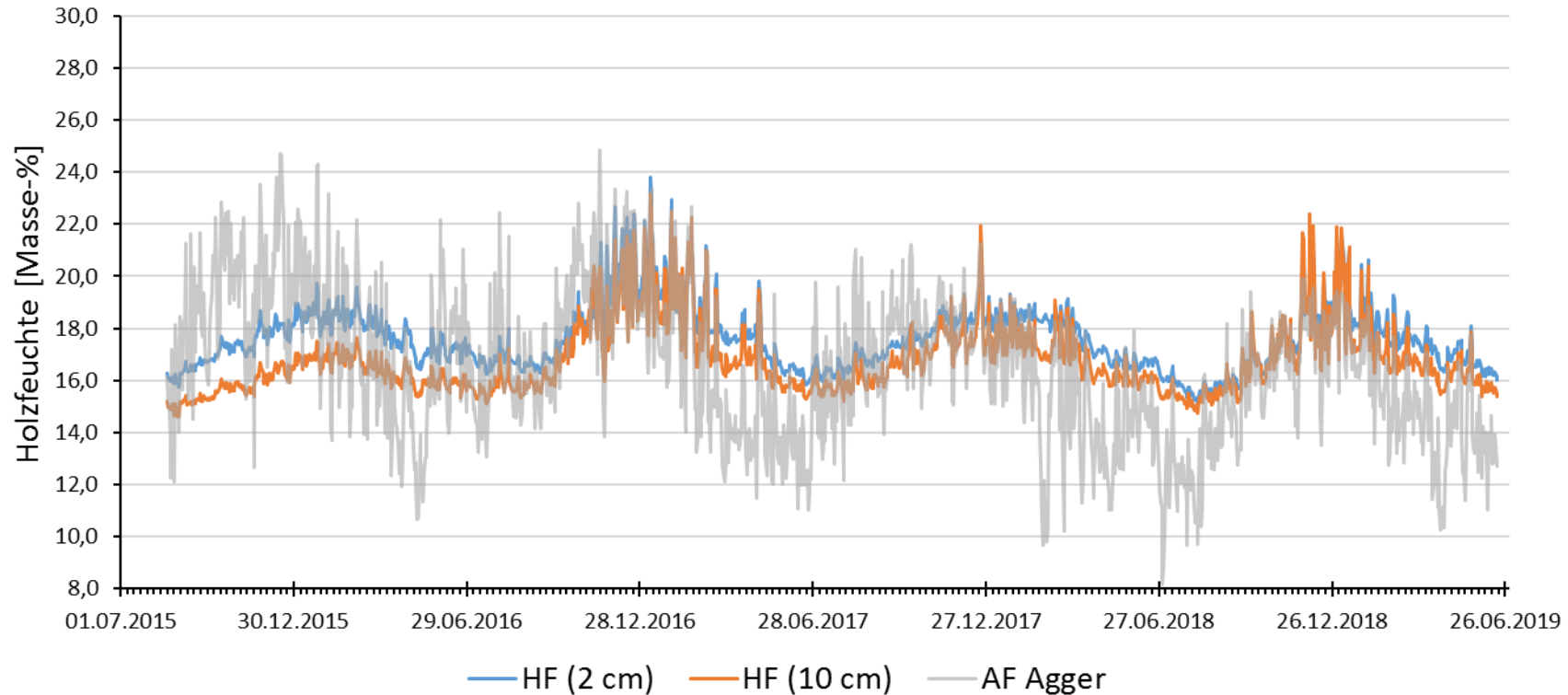
Legende:

- HF Holzfeuchte (temperaturkompensierter Messwert)
- AF Ausgleichsfeuchte (theoretischer Wert, berechnet aus dem Umgebungsklima)
- AF Fluss Ausgleichsfeuchte (theoretischer Wert, berechnet aus dem Umgebungsklima) über dem Gewässer (Agger)
- (X cm) Messtiefe ab Bauteiloberfläche

Diagramm C2: Straßenbrücke über die Agger in Lohmar/Höngesberg Messstelle 2

Messzeitraum: 19.08.2015 - 18.06.2019

Messstelle MS2 über dem Gewässer nahe des nordwestlichen Ufers im stromabwärts liegenden Zangenträger (Zuband des Bogens)



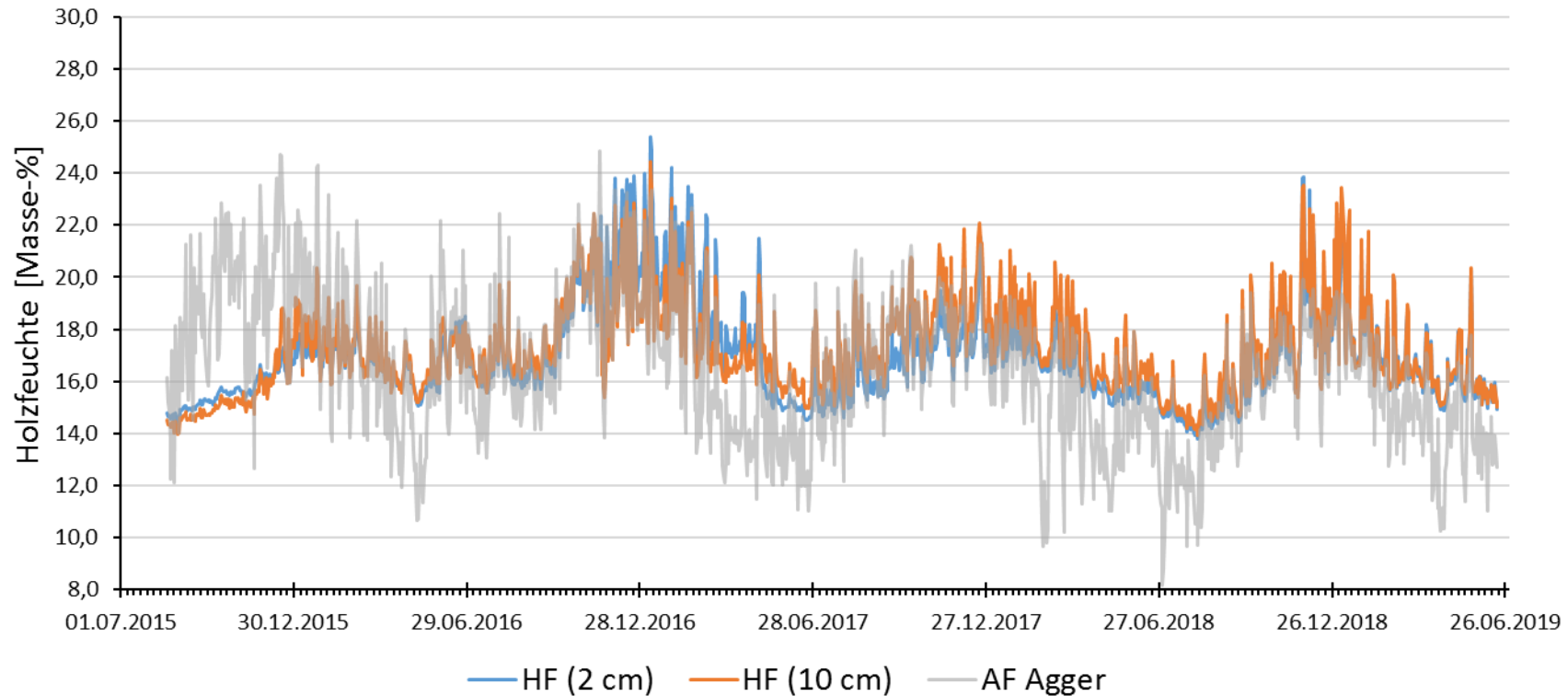
Legende:

- HF Holzfeuchte (temperaturkompensierter Messwert)
- AF Ausgleichsfeuchte (theoretischer Wert, berechnet aus dem Umgebungsklima)
- (X cm) Messtiefe ab Bauteiloberfläche

Diagramm C3: Straßenbrücke über die Agger in Lohmar/Höngesberg Messstelle 3

Messzeitraum: 19.08.2015 - 18.06.2019

Messstelle MS3 über dem Gewässer nahe des nordwestlichen Ufers in der Unterseite der Fahrbahnplatte



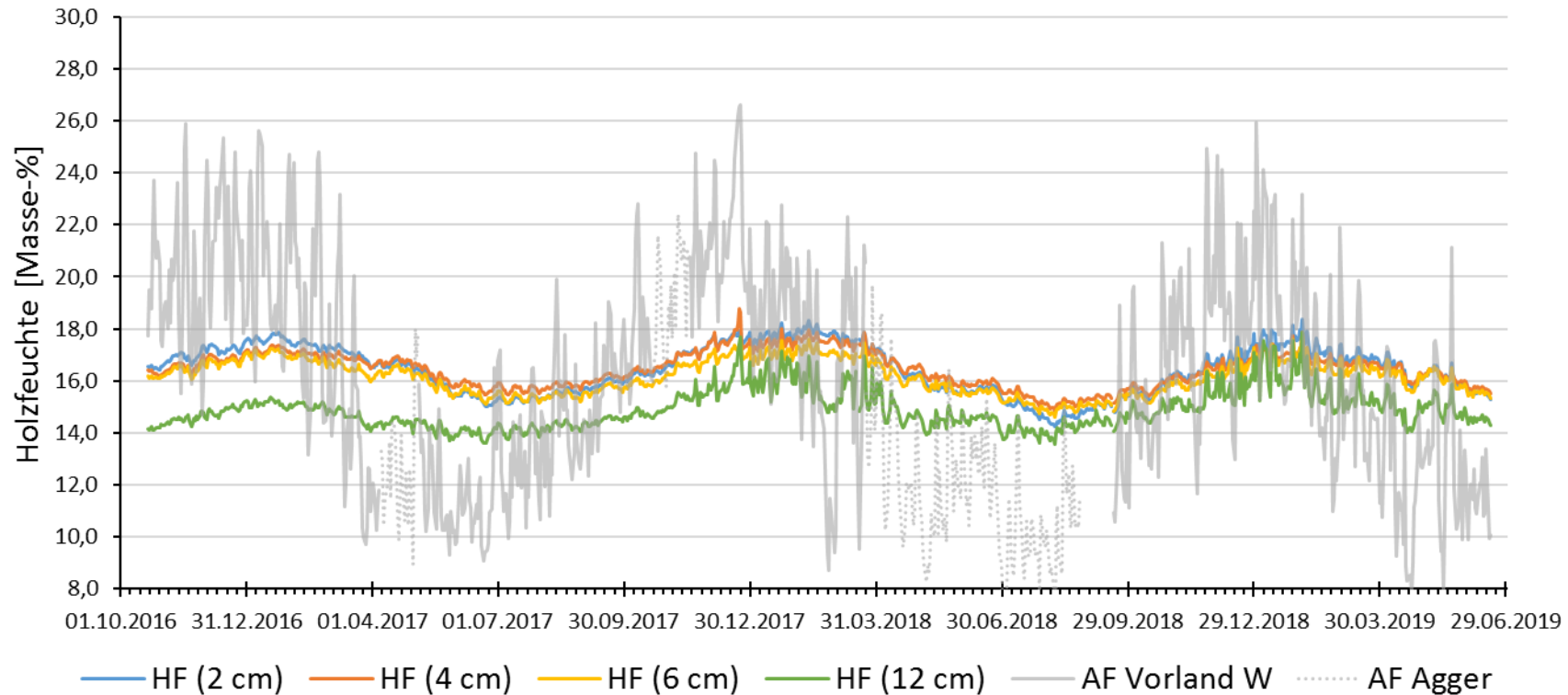
Legende:

- HF Holzfeuchte (temperaturkompensierter Messwert)
- AF Ausgleichsfeuchte (theoretischer Wert, berechnet aus dem Umgebungsklima)
- (X cm) Messtiefe ab Bauteiloberfläche

Diagramm C4: Straßenbrücke über die Agger in Lohmar/Schiffarth Messstelle 1

Messzeitraum: 21.10.2016 - 18.06.2019

Messstelle MS1 nahe des westlichen Widerlagers auf dem westlichen Vorland im stromaufwärts liegenden Hauptträger auf der Innenseite



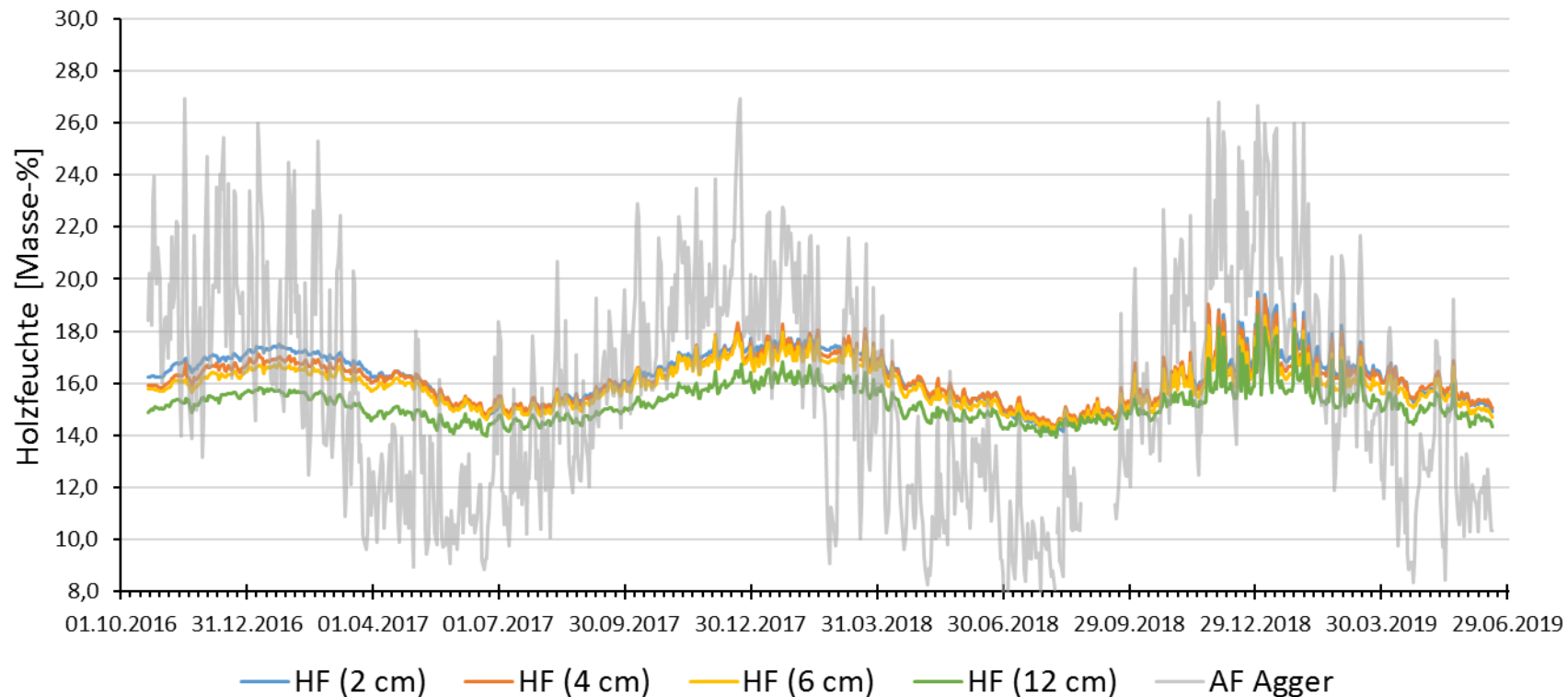
Legende:

HF Holzfeuchte (temperaturkompensierter Messwert)  
 AF Ausgleichsfeuchte (theoretischer Wert, berechnet aus dem Umgebungsklima)  
 (X cm) Messtiefe ab Bauteiloberfläche

Diagramm C5: Straßenbrücke über die Agger in Lohmar/Schiffarth Messstelle 2

Messzeitraum: 21.10.2016 - 18.06.2019

Messstelle MS2 nahe der Brückenmitte über der Agger im stromaufwärts liegenden Hauptträger auf der Innenseite



Legende:

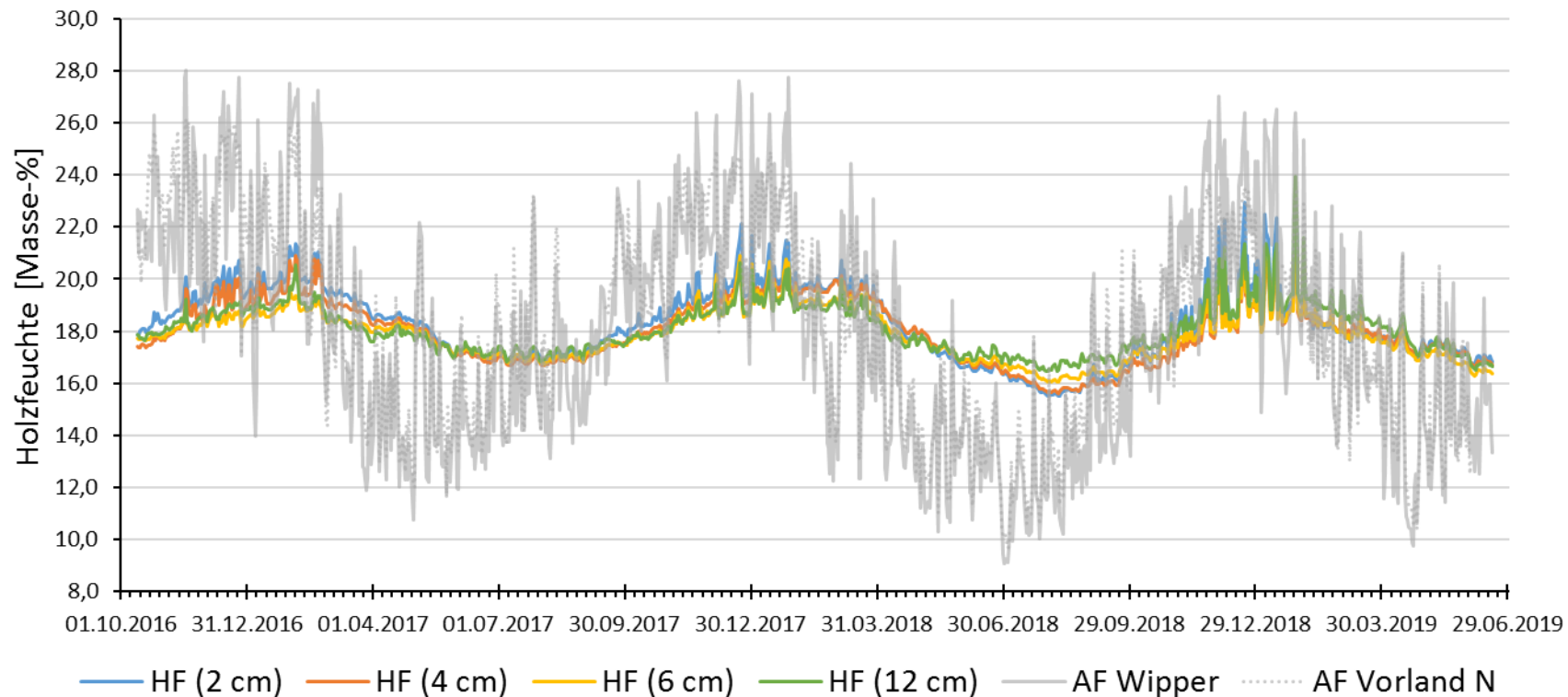
- HF Holzfeuchte (temperaturkompensierter Messwert)
- AF Ausgleichsfeuchte (theoretischer Wert, berechnet aus dem Umgebungsklima)
- (X cm) Messtiefe ab Bauteiloberfläche



Diagramm C6: Birkbergbrücke über die Wipper bei Wippra Messstelle 1

Messzeitraum: 13.10.2016 - 18.06.2019

Messstelle MS1 nahe des südlichen Widerlagers im stromaufwärts liegenden Hauptträger



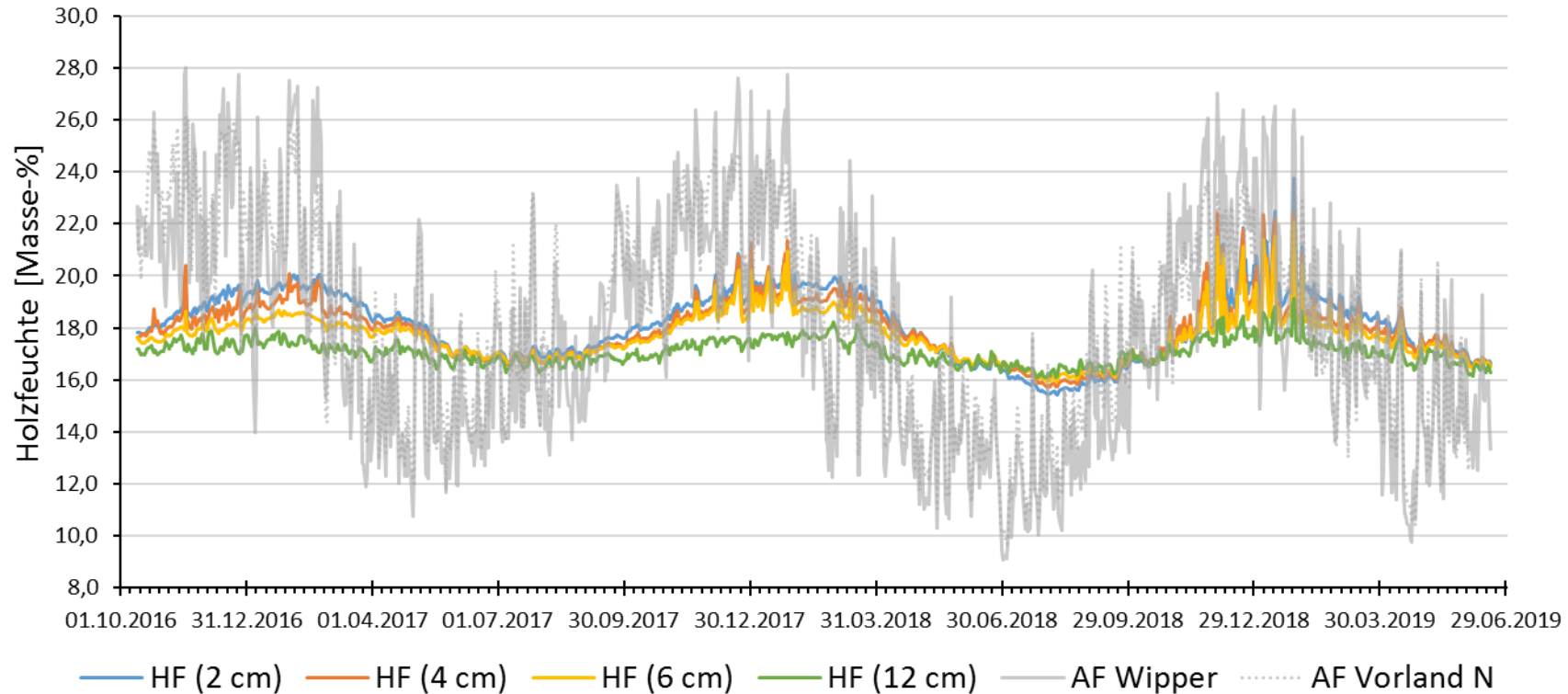
Legende:

- HF Holzfeuchte (temperaturkompensierter Messwert)
- AF Ausgleichsfeuchte (theoretischer Wert, berechnet aus dem Umgebungsklima)
- (X cm) Messtiefe ab Bauteiloberfläche

Diagramm C7: Birkbergbrücke über die Wipper bei Wippra Messstelle 2

Messzeitraum: 13.10.2016 - 18.06.2019

Messstelle MS2 über dem Gewässer im stromaufwärts liegenden Hauptträger

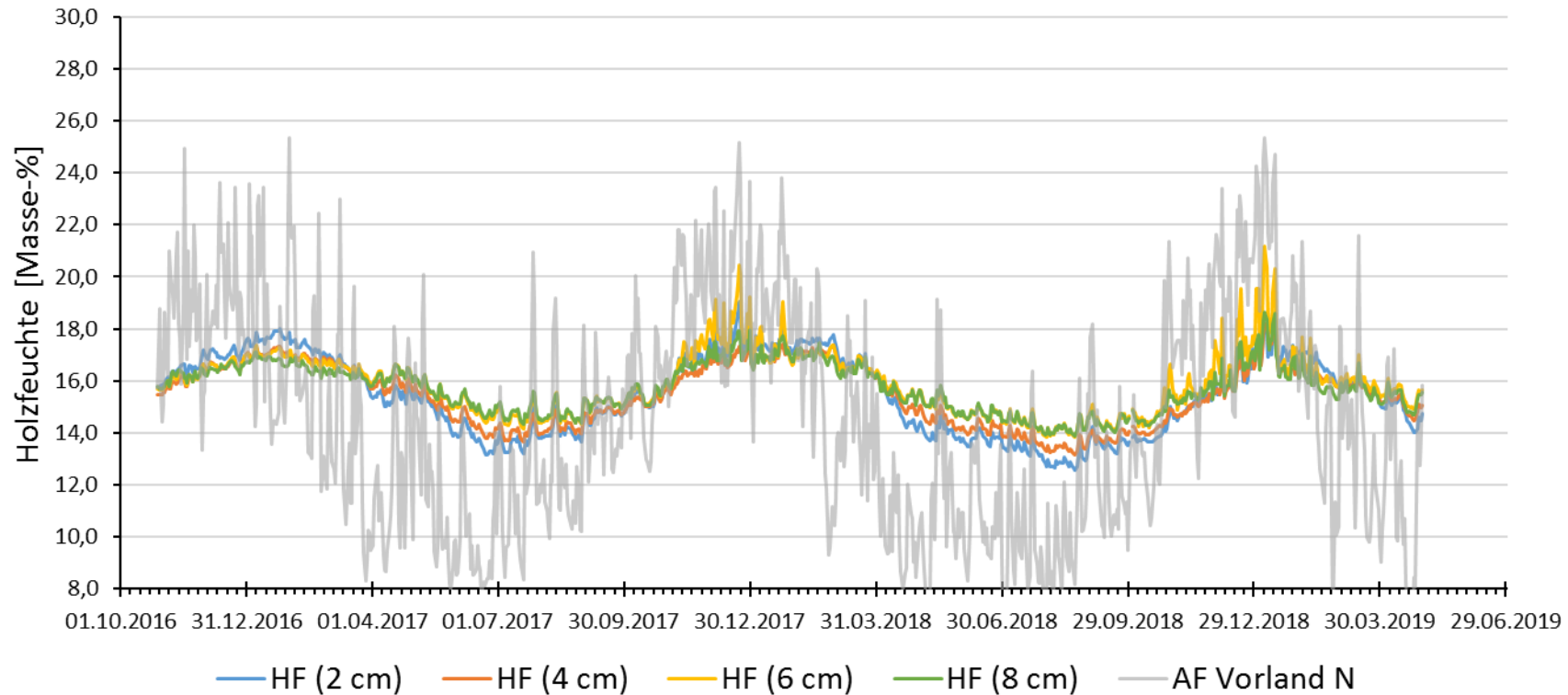


HF Holzfeuchte (temperaturkompensierter Messwert)  
 AF Ausgleichsfeuchte (theoretischer Wert, berechnet aus dem Umgebungsklima)  
 (X cm) Messtiefe ab Bauteiloberfläche

Diagramm C8: Rokokobrücke (Geh- und Radwegbrücke) über die Rems in Schwäbisch Gmünd Messstelle 1

Messzeitraum: 28.10.2016 - 30.04.2019

Messstelle MS1 über dem nördlichen Vorland im Hauptträger



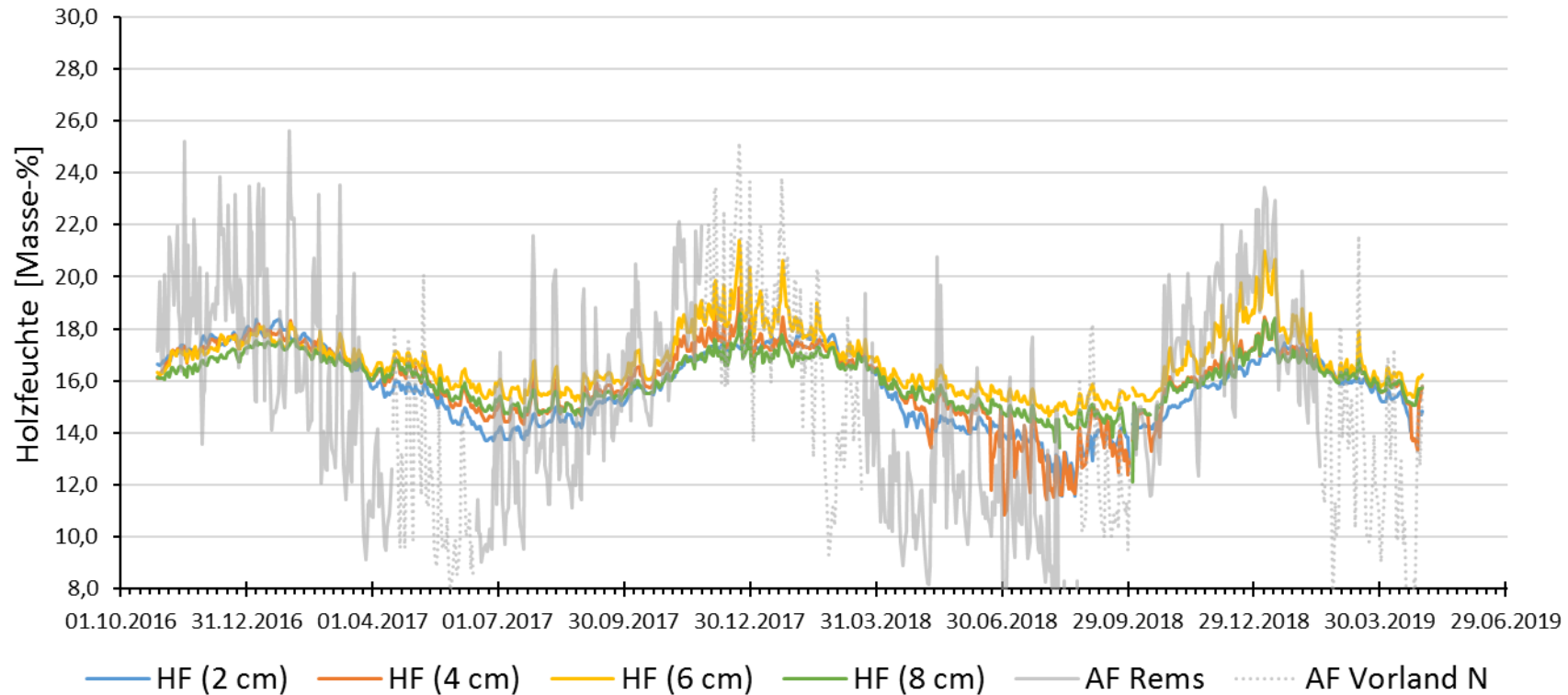
Legende:

HF Holzfeuchte (temperaturkompensierter Messwert)  
 AF Ausgleichsfeuchte (theoretischer Wert, berechnet aus dem Umgebungsklima)  
 (X cm) Messtiefe ab Bauteiloberfläche

Diagramm C9: Rokokobrücke (Geh- und Radwegbrücke) über die Rems in Schwäbisch Gmünd Messstelle 2

Messzeitraum: 28.10.2016 - 30.04.2019

Messstelle MS2 etwa in der Mitte über dem Gewässer im Hauptträger



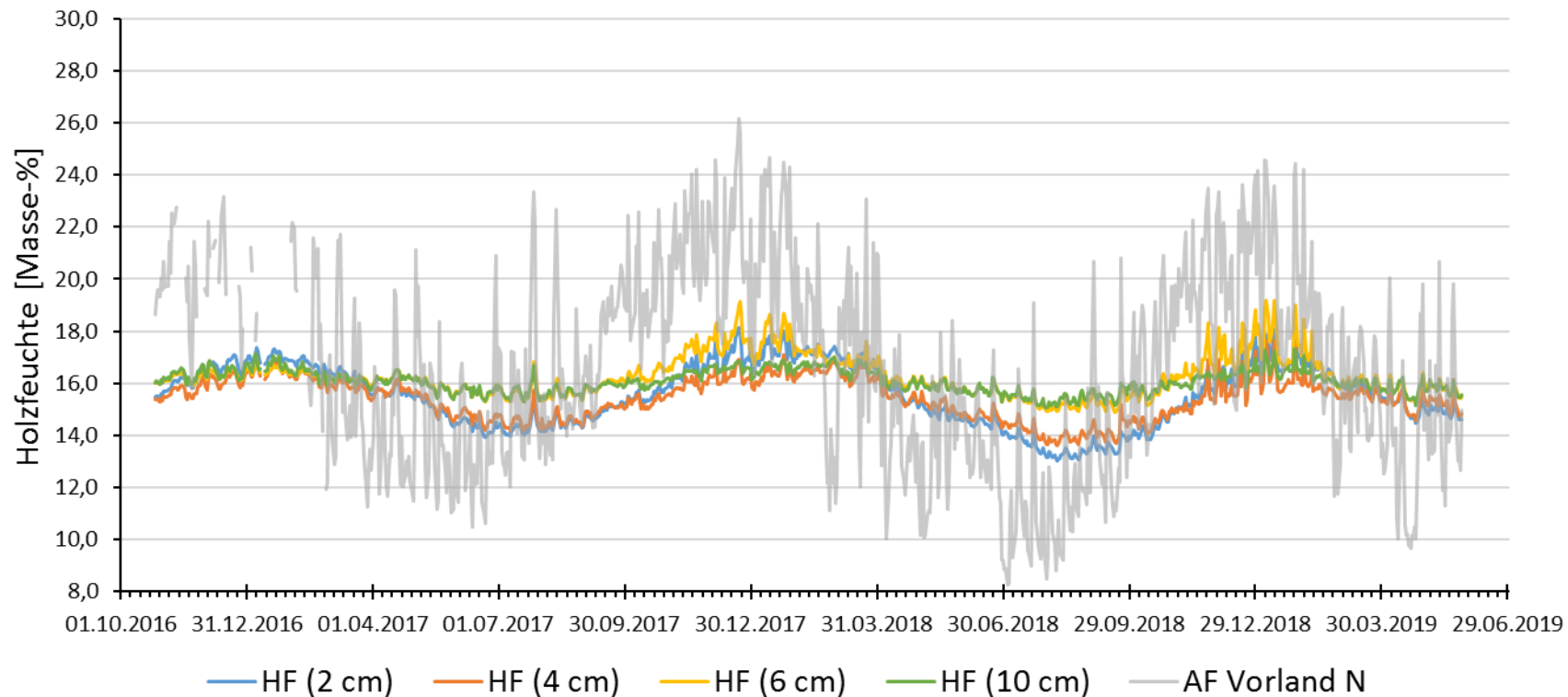
Legende:

HF Holzfeuchte (temperaturkompensierter Messwert)  
 AF Ausgleichsfeuchte (theoretischer Wert, berechnet aus dem Umgebungsklima)  
 (X cm) Messtiefe ab Bauteiloberfläche

Diagramm C10: Geh- und Radwegbrücke über die Werra in Breitungen Messstelle 1

Messzeitraum: 26.10.2016 - 27.05.2019

Messstelle MS1 nahe des Pfeilers auf dem nördlichen Vorland im stromaufwärts liegenden Hauptträger



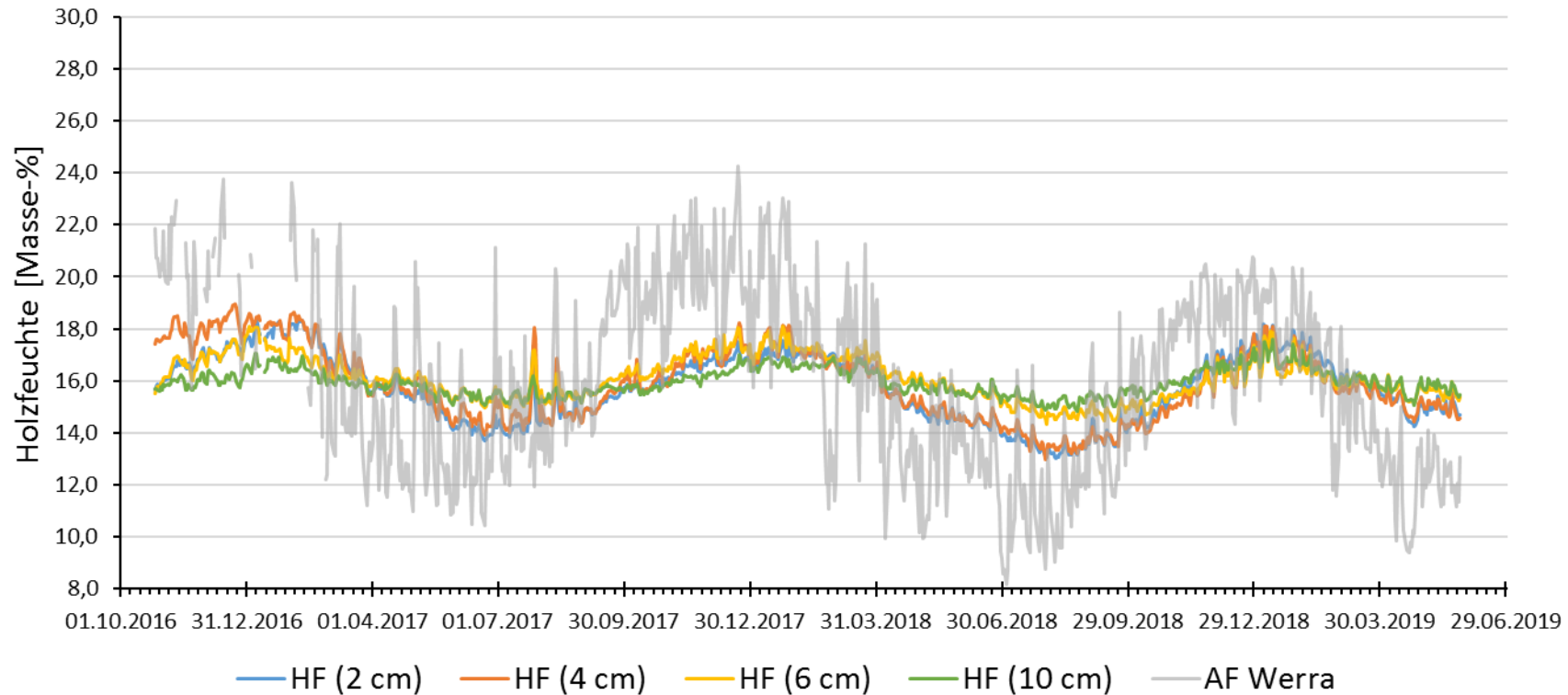
Legende:

- HF Holzfeuchte (temperaturkompensierter Messwert)
- AF Ausgleichsfeuchte (theoretischer Wert, berechnet aus dem Umgebungsklima)
- (X cm) Messtiefe ab Bauteiloberfläche

Diagramm C11: Geh- und Radwegbrücke über die Werra in Breitungen Messstelle 2

Messzeitraum: 26.10.2016 - 27.05.2019

Messstelle MS2 über dem Gewässer nahe des nördlichen Ufers im stromaufwärts liegenden Hauptträger



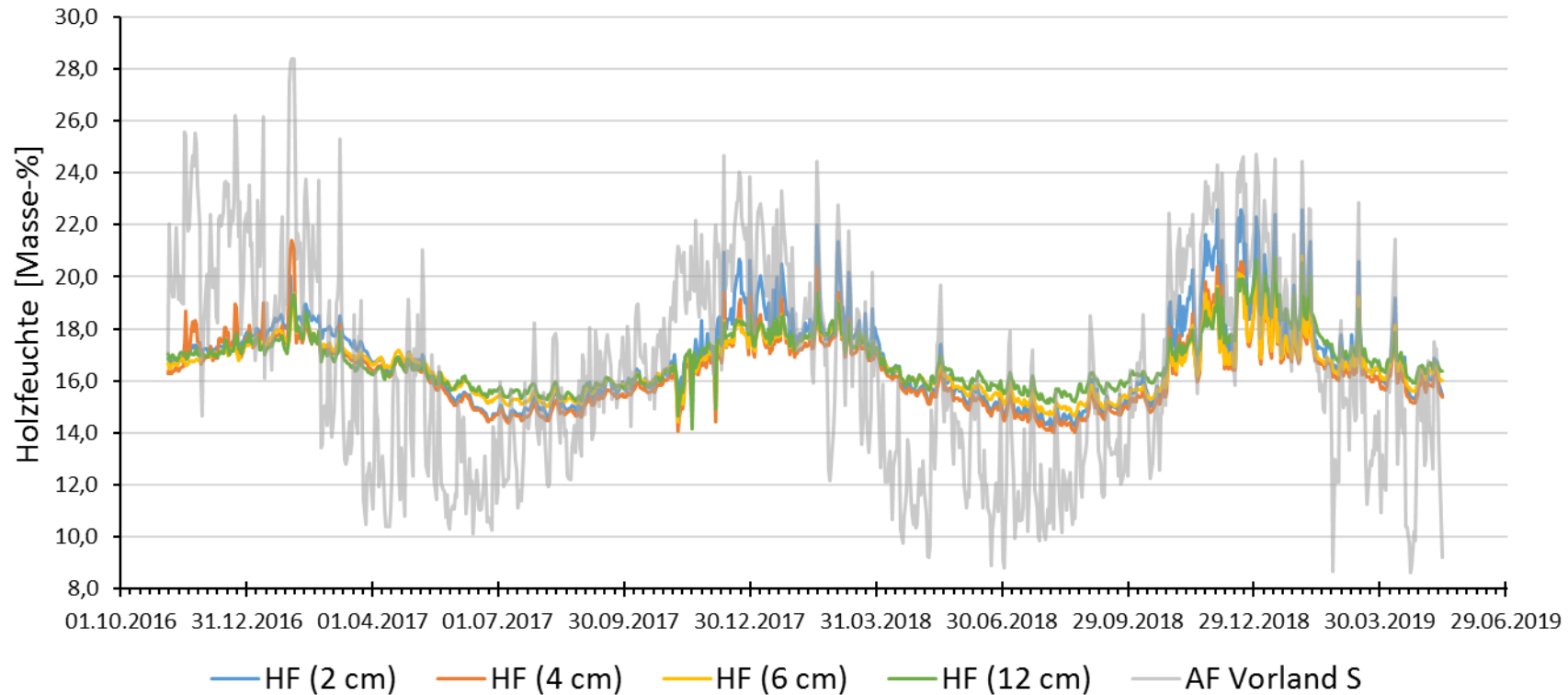
Legende:

HF Holzfeuchte (temperaturkompensierter Messwert)  
 AF Ausgleichsfeuchte (theoretischer Wert, berechnet aus dem Umgebungsklima)  
 (X cm) Messtiefe ab Bauteiloberfläche

Diagramm C12: Nepomukbrücke (Geh- und Radwegbrücke) über die Donau in Sigmaringen Messstelle 1

Messzeitraum: 04.11.2016 - 14.05.2019

Messstelle MS1 nahe des Widerlagers über dem südlichen Vorland im stromabwärts liegenden äußeren Hauptträger



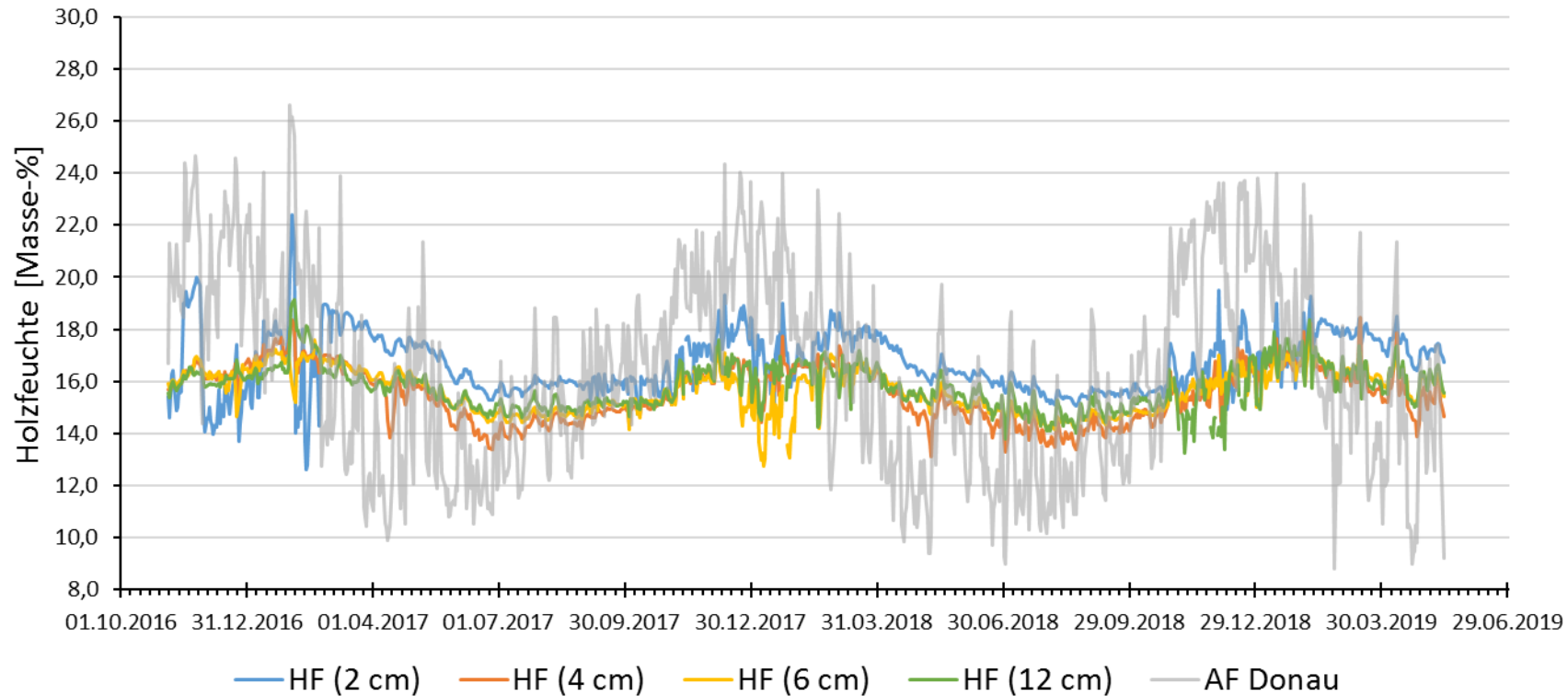
Legende:

HF Holzfeuchte (temperaturkompensierter Messwert)  
 AF Ausgleichsfeuchte (theoretischer Wert, berechnet aus dem Umgebungsklima)  
 (X cm) Messtiefe ab Bauteiloberfläche

Diagramm C13: Nepomukbrücke (Geh- und Radwegbrücke) über die Donau in Sigmaringen Messstelle 2

Messzeitraum: 04.11.2016 - 14.05.2019

Messstelle MS2 nahe des Pfeilers mit Nepomuk-Statue über der Donau im stromabwärts liegenden äußeren Hauptträger



Legende:

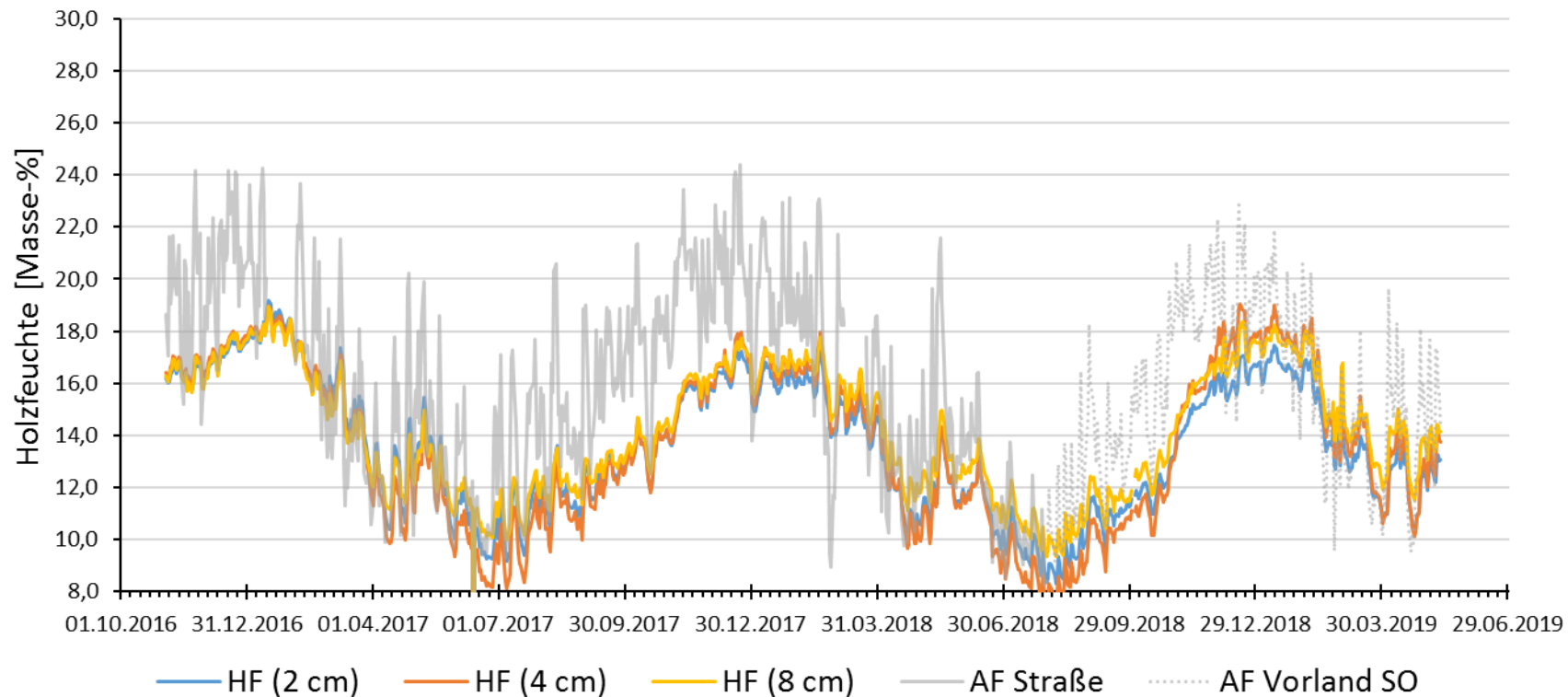
- HF Holzfeuchte (temperaturkompensierter Messwert)
- AF Ausgleichsfeuchte (theoretischer Wert, berechnet aus dem Umgebungsklima)
- (X cm) Messtiefe ab Bauteiloberfläche



Diagramm C14: Geh- und Radwegbrücke über die Wiese und die B 317 in Lörrach Messsystem I Messstelle 1

Messzeitraum: 03.11.2016 - 12.05.2019

Messstelle MS1 in der Mitte über der B 317 im stromaufwärts liegenden Untergurt auf der Unterseite



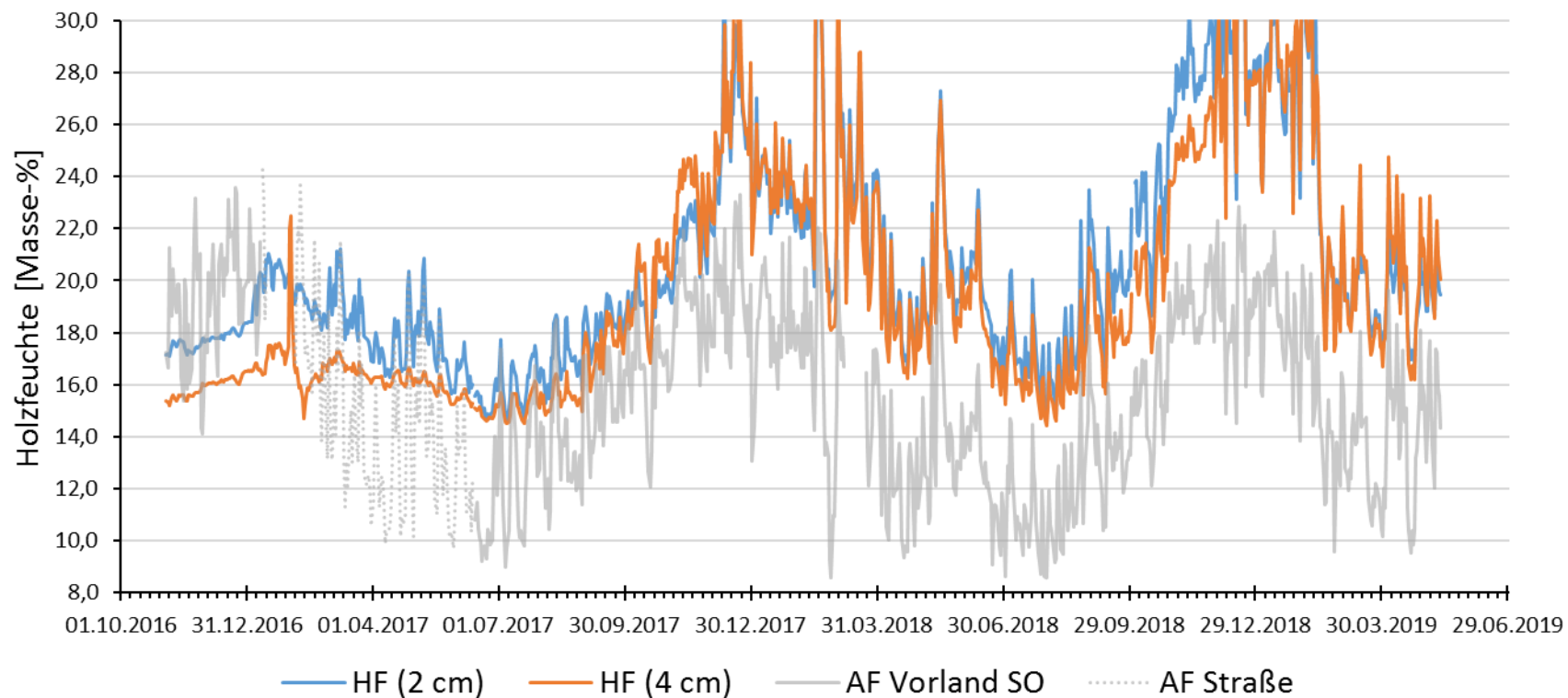
Legende:

HF Holzfeuchte (temperaturkompensierter Messwert)  
 AF Ausgleichsfeuchte (theoretischer Wert, berechnet aus dem Umgebungsklima)  
 (X cm) Messtiefe ab Bauteiloberfläche

Diagramm C15: Geh- und Radwegbrücke über die Wiese und die B 317 in Lörrach Messsystem I Messstelle 2

Messzeitraum: 03.11.2016 - 12.05.2019

Messstelle MS2 etwa in der Mitte über dem südöstlichen Vorland im stromaufwärts liegenden Untergurt auf der Innenseite



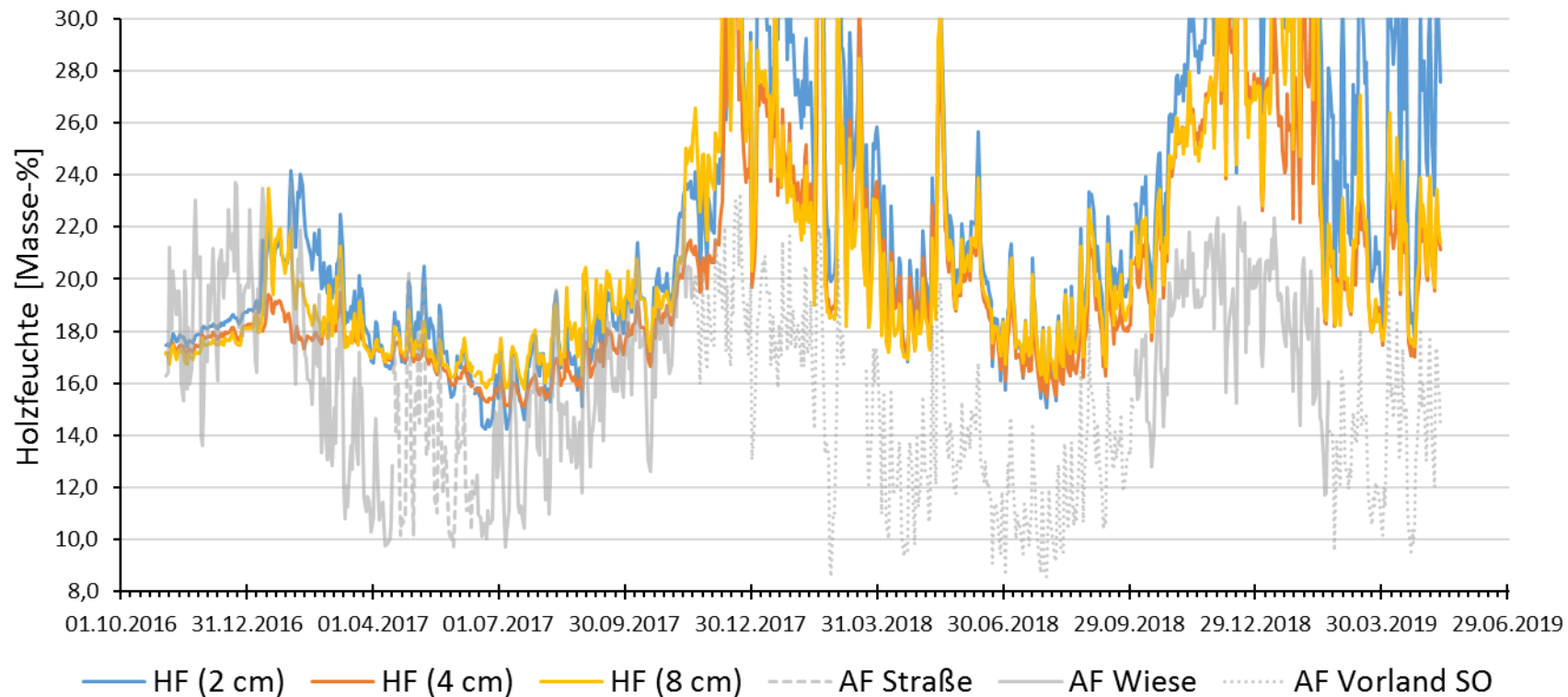
Legende:

HF Holzfeuchte (temperaturkompensierter Messwert)  
 AF Ausgleichsfeuchte (theoretischer Wert, berechnet aus dem Umgebungsklima)  
 (X cm) Messtiefe ab Bauteiloberfläche

Diagramm C16: Geh- und Radwegbrücke über die Wiese und die B 317 in Lörrach Messsystem I Messstelle 3

Messzeitraum: 03.11.2016 - 12.05.2019

Messstelle MS3 über der Wiese nahe des südöstlichen Ufers im stromaufwärts liegenden Untergurt auf der Innenseite



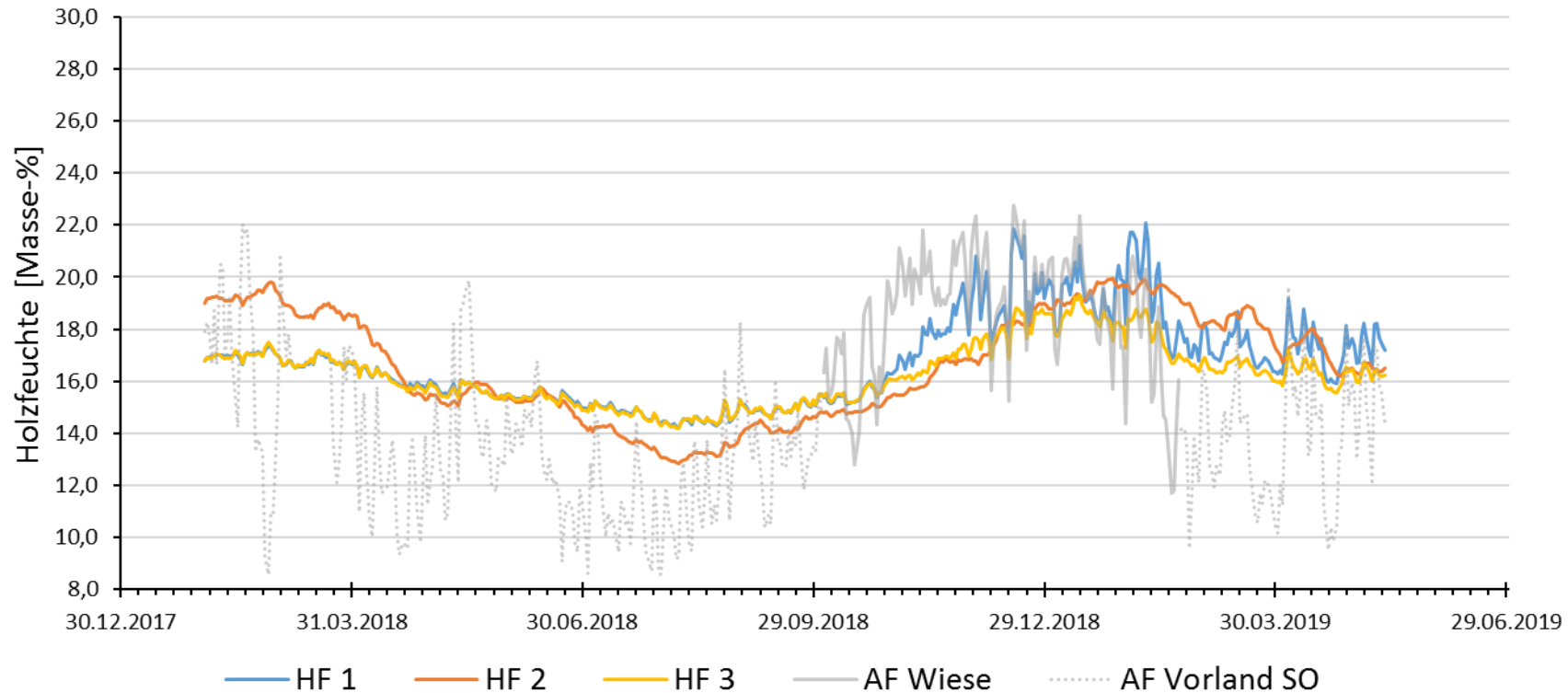
Legende:

- HF Holzfeuchte (temperaturkompensierter Messwert)
- AF Ausgleichsfeuchte (theoretischer Wert, berechnet aus dem Umgebungsklima)
- (X cm) Messtiefe ab Bauteiloberfläche

Diagramm C17: Geh- und Radwegbrücke über die Wiese und die B 317 in Lörrach Messsystem II Messbereich Wiese

Messzeitraum: 01.02.2018 - 12.05.2019

Messbereich MBW etwa in der Mitte über der Wiese



Legende:

HF 1 Holzfeuchte\* im stromabwärts liegenden Untergurt zwischen Achse 170/180 in 5 cm Tiefe ab Bauteiloberfläche

HF 2 Holzfeuchte\* im stromabwärts liegenden Pfosten in Achse 170 in 1,5 cm Tiefe ab Bauteiloberfläche

HF 3 Holzfeuchte\* im stromaufwärts liegenden Untergurt zwischen Achse 170/180 in 5 cm Tiefe ab Bauteiloberfläche

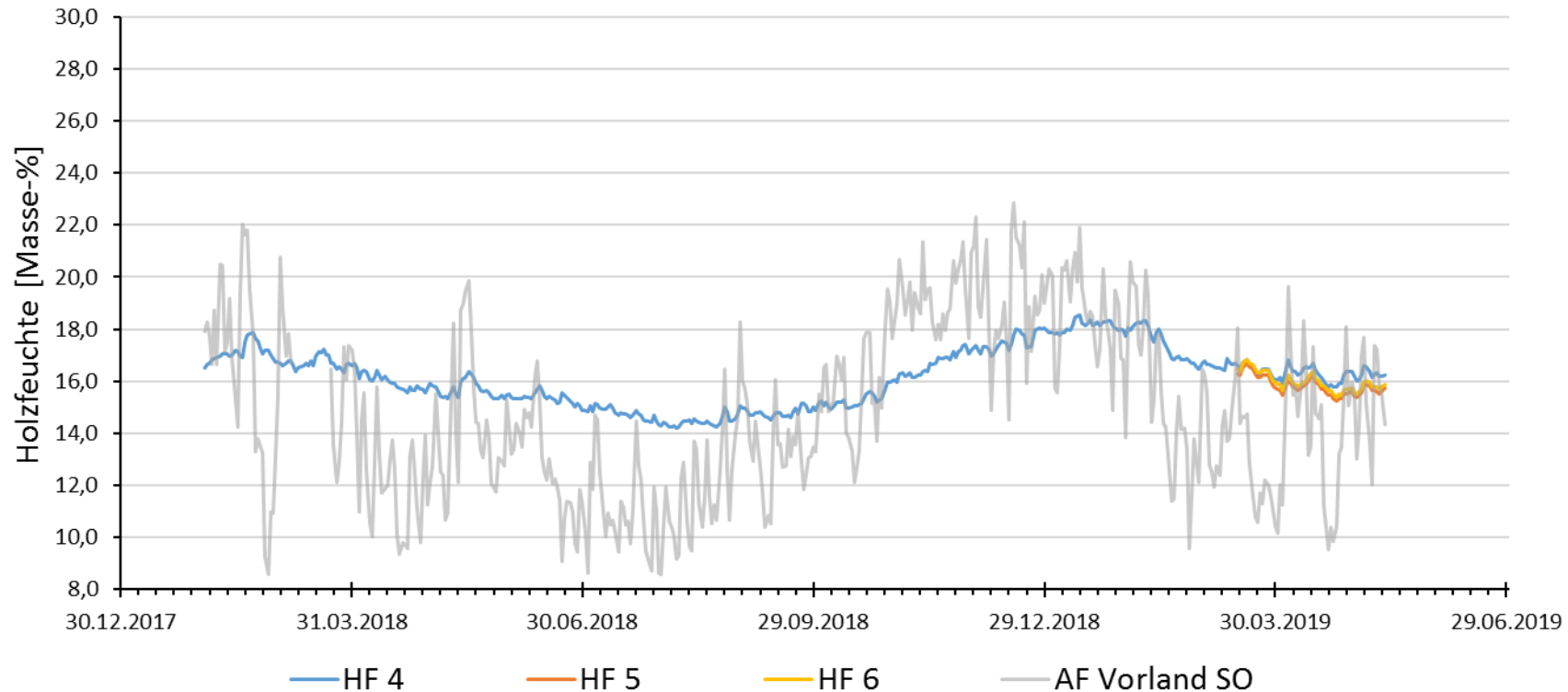
\* temperaturkompensierter Messwert

AF Ausgleichsfeuchte (theoretischer Wert, berechnet aus dem Umgebungsklima)

Diagramm C18: Geh- und Radwegbrücke über die Wiese und die B 317 in Lörrach Messsystem II Messbereich Testfelder

Messzeitraum: 01.02.2018 - 12.05.2019 bzw. 15.03.2019 - 12.05.2019

Messbereich MBT über dem südöstlichen Vorland im Bereich der Testfelder des Wetterschutzes



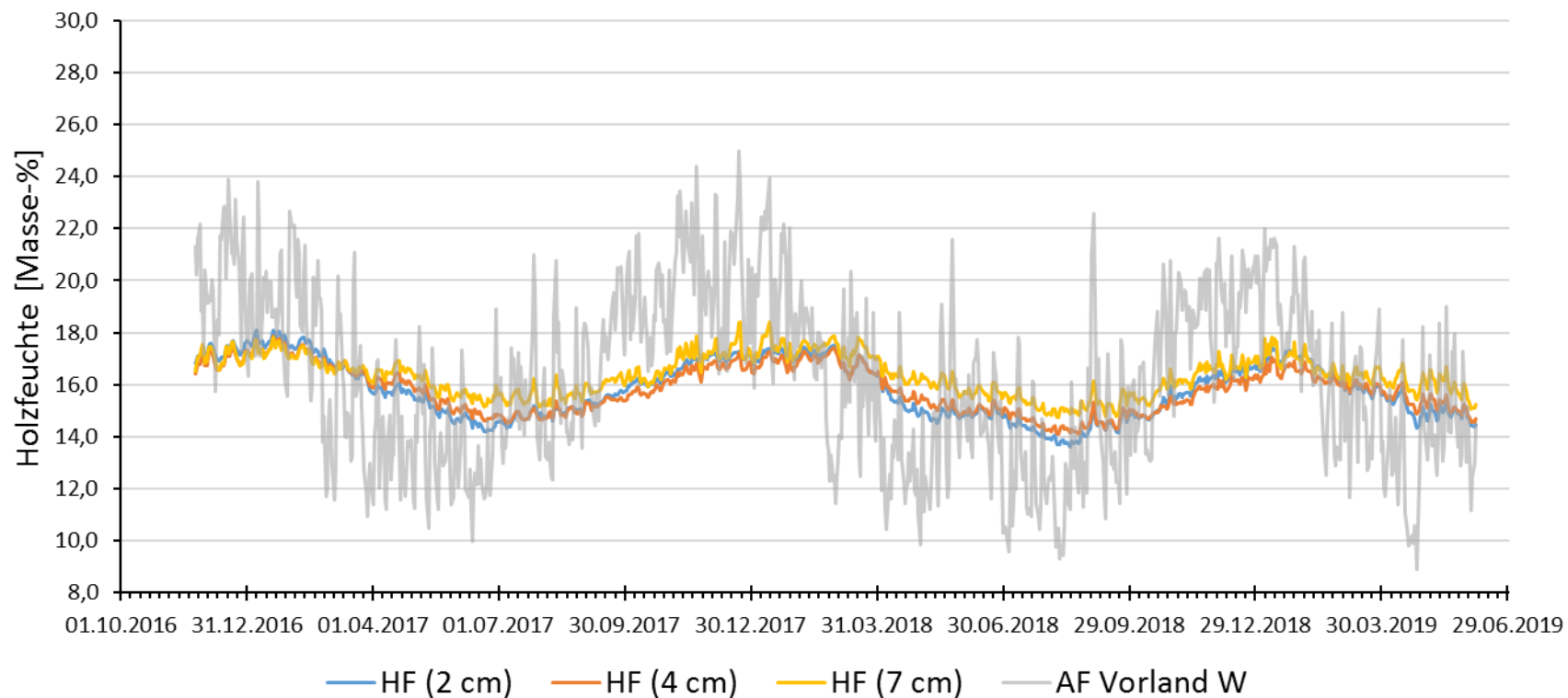
Legende:

- HF 4 Holzfeuchte\* im stromabwärts liegenden Untergurt zwischen Achse 130/140 in 5 cm Tiefe ab Bauteiloberfläche
- HF 5 Holzfeuchte\* im stromaufwärts liegenden Untergurt zwischen Achse 110/120 in 2,5 cm Tiefe ab Bauteiloberfläche
- HF 6 Holzfeuchte\* im stromabwärts liegenden Untergurt zwischen Achse 110/120 in 2,5 cm Tiefe ab Bauteiloberfläche
- \* temperaturkompensierter Messwert
- AF Ausgleichsfeuchte (theoretischer Wert, berechnet aus dem Umgebungsklima)

Diagramm C19: Geh- und Radwegbrücke Oberer Anger in Werdau Messstelle 1

Messzeitraum: 24.11.2016 - 06.06.2019

Messstelle MS1 nahe des westlichen Widerlagers im stromaufwärts liegenden Hauptträger



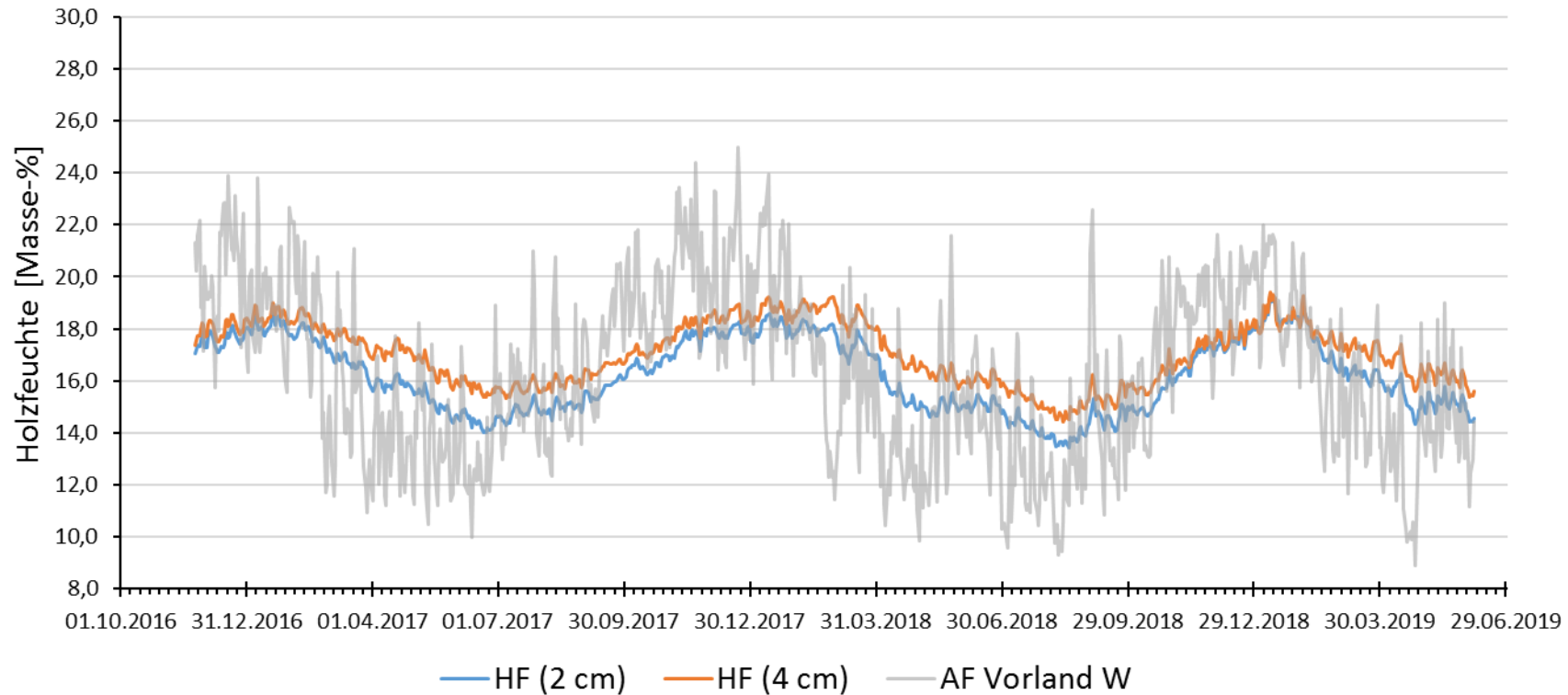
Legende:

- HF Holzfeuchte (temperaturkompensierter Messwert)
- AF Ausgleichsfeuchte (theoretischer Wert, berechnet aus dem Umgebungsklima)
- (X cm) Messtiefe ab Bauteiloberfläche

Diagramm C20: Geh- und Radwegbrücke Oberer Anger in Werdau Messstelle 2

Messzeitraum: 24.11.2016 - 06.06.2019

Messstelle MS2 nahe des westlichen Widerlagers im stromaufwärts liegenden Bohlenbelagträger



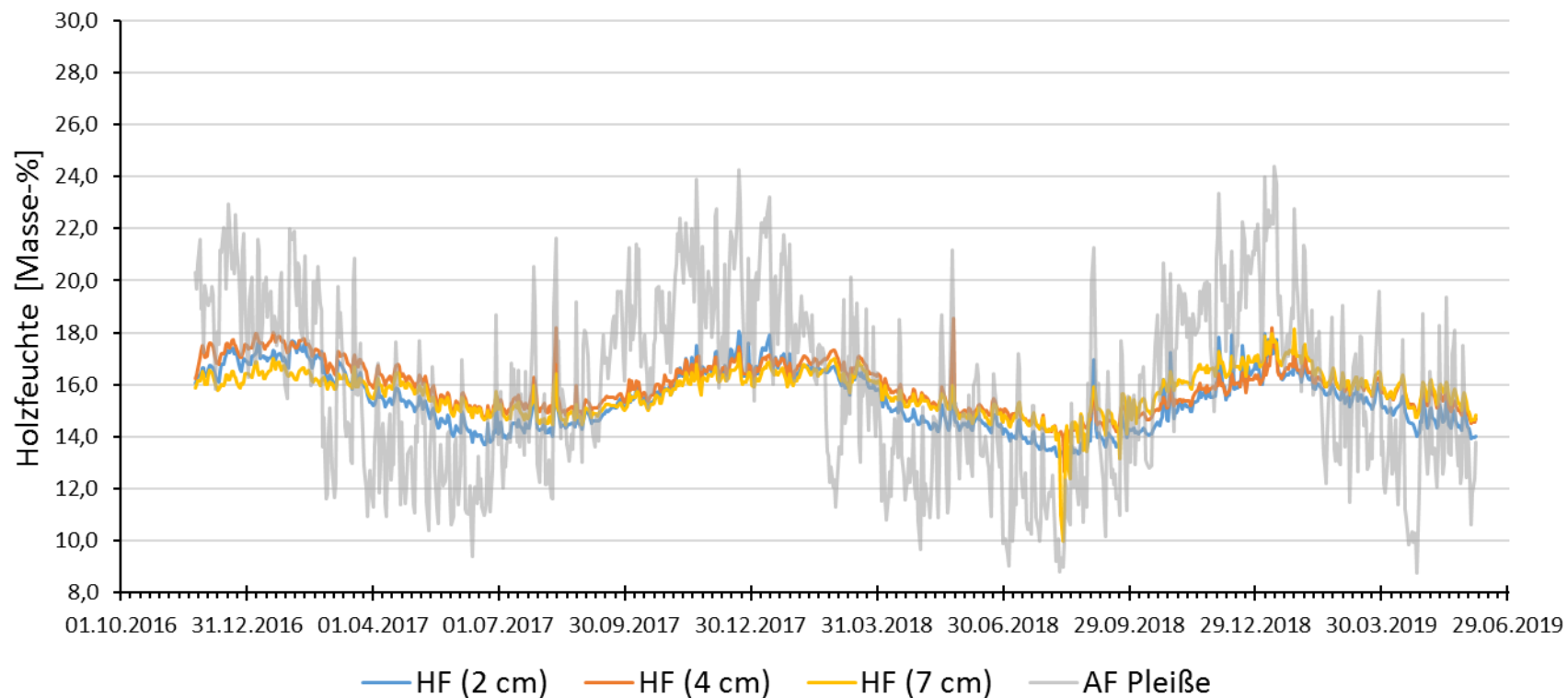
Legende:

- HF Holzfeuchte (temperaturkompensierter Messwert)
- AF Ausgleichsfeuchte (theoretischer Wert, berechnet aus dem Umgebungsklima)
- (X cm) Messtiefe ab Bauteiloberfläche

Diagramm C21: Geh- und Radwegbrücke Oberer Anger in Werdau Messstelle 3

Messzeitraum: 24.11.2016 - 06.06.2019

Messstelle MS3 etwa in der Mitte über der Pleiße im stromaufwärts liegenden Hauptträger



Legende:

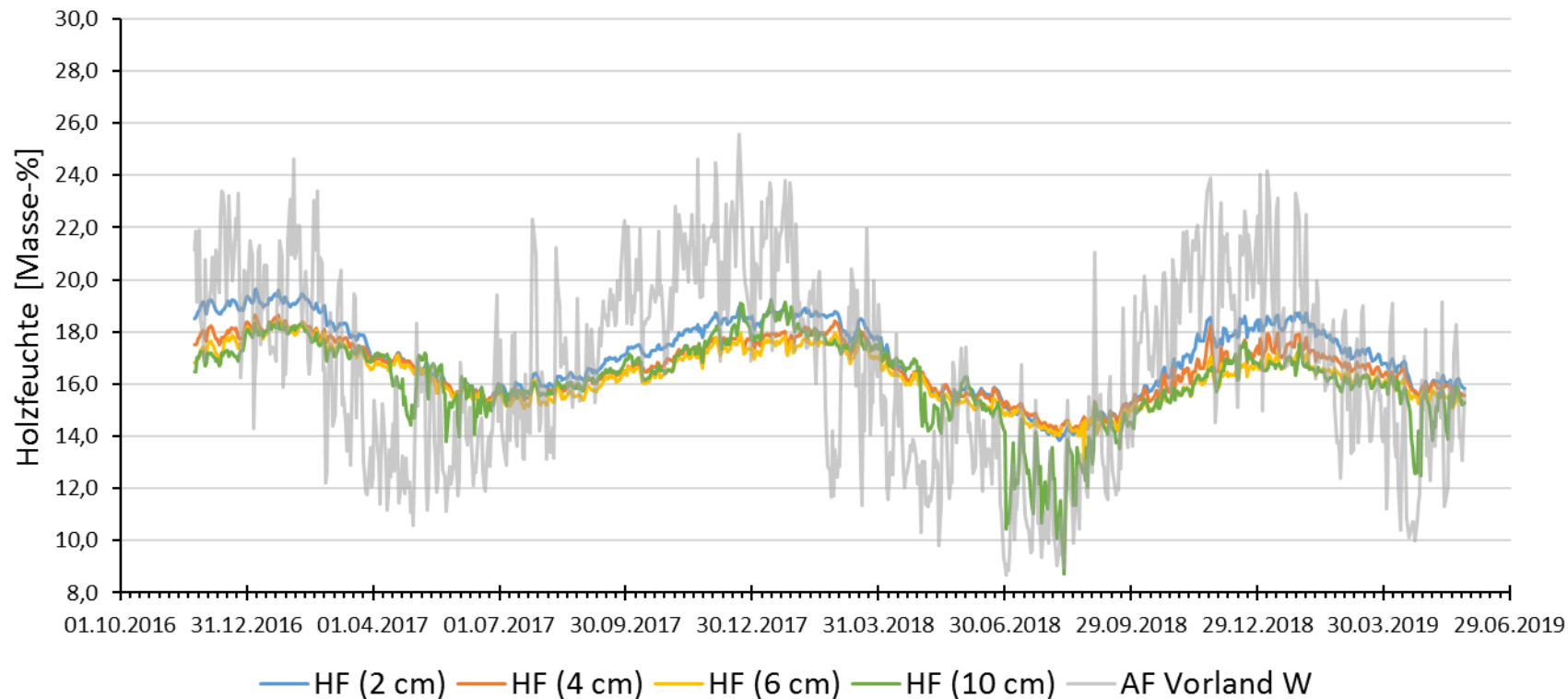
HF Holzfeuchte (temperaturkompensierter Messwert)  
 AF Ausgleichsfeuchte (theoretischer Wert, berechnet aus dem Umgebungsklima)  
 (X cm) Messtiefe ab Bauteiloberfläche



Diagramm C22: Werratal-Radwegbrücke zwischen Ebenshausen und Frankenroda Messstelle 1

Messzeitraum: 23.11.2016 - 27.05.2019

Messstelle:MS1 nahe des westlichen Widerlagers über dem Vorland im stromabwärts liegenden Hauptträger



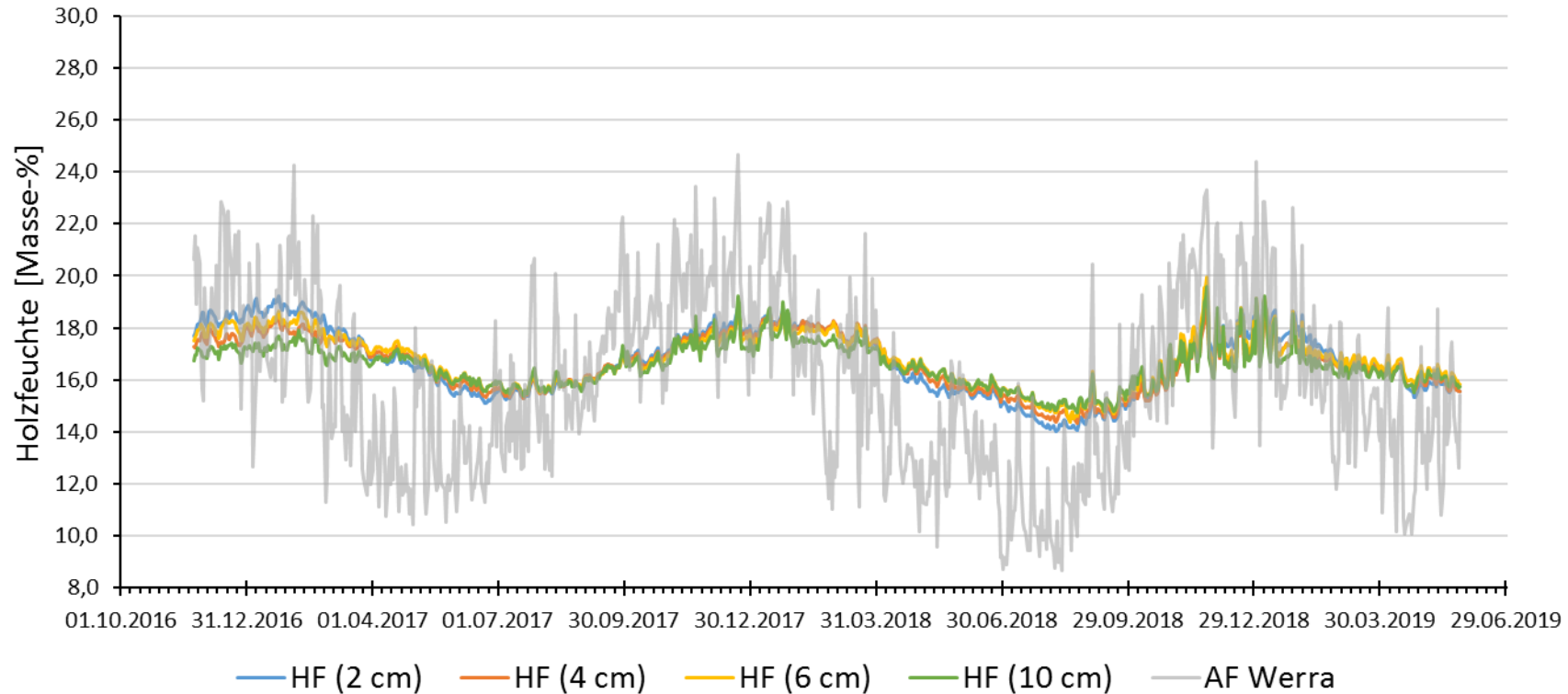
Legende:

- HF Holzfeuchte (temperaturkompensierter Messwert)
- AF Ausgleichsfeuchte (theoretischer Wert, berechnet aus dem Umgebungsklima)
- (X cm) Messtiefe ab Bauteiloberfläche

Diagramm C23: Werratal-Radwegbrücke zwischen Ebenshausen und Frankenroda Messstelle 2

Messzeitraum: 23.11.2016 - 27.05.2019

Messstelle MS2 nahe des westlichen Ufers über der Werra im stromabwärts liegenden Hauptträger



Legende:

- HF Holzfeuchte (temperaturkompensierter Messwert)
- AF Ausgleichsfeuchte (theoretischer Wert, berechnet aus dem Umgebungsklima)
- (X cm) Messtiefe ab Bauteiloberfläche