

## 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

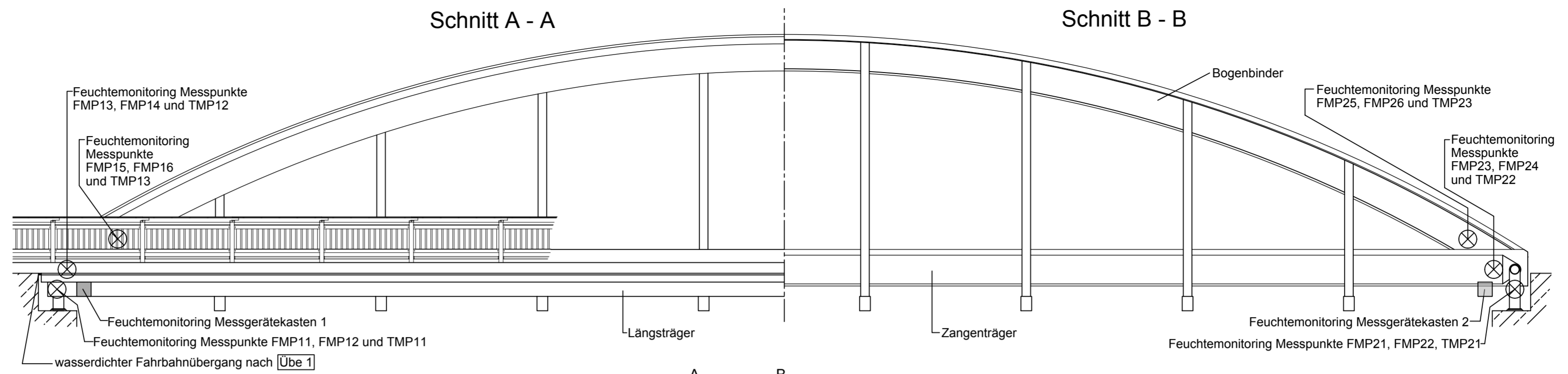
- [1] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Richtlinien für das Aufstellen von Bauwerksentwürfen für Ingenieurbauten (RAB-ING). 06/2018
- [2] DIN EN 335:2013-06: Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten – Gebrauchsklassen: Definitionen, Anwendung bei Vollholz und Holzprodukten
- [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

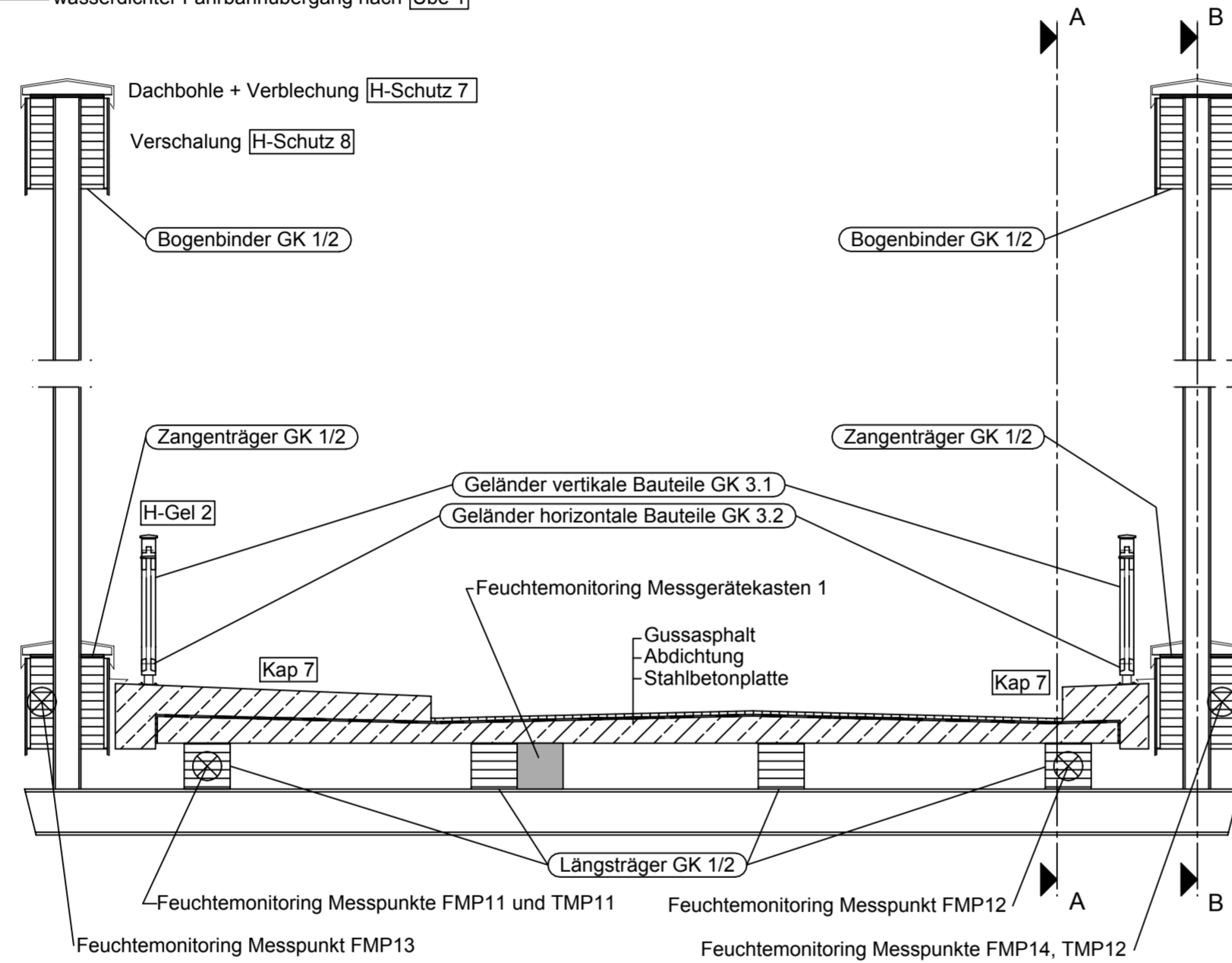
Musterbeispiel zum Bauwerksplan (Unterlage 8): Holzschutzplan



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.:			
	Streckenbezeichnung:			
	Gemarkung:			
	Bauwerk / Baumaßnahme:			
ASB-Nr.:				
Holzschutzplan				
Maßstab:				
Aufgestellt:		Geprüft:		
Gesehen:		Genehmigt:		