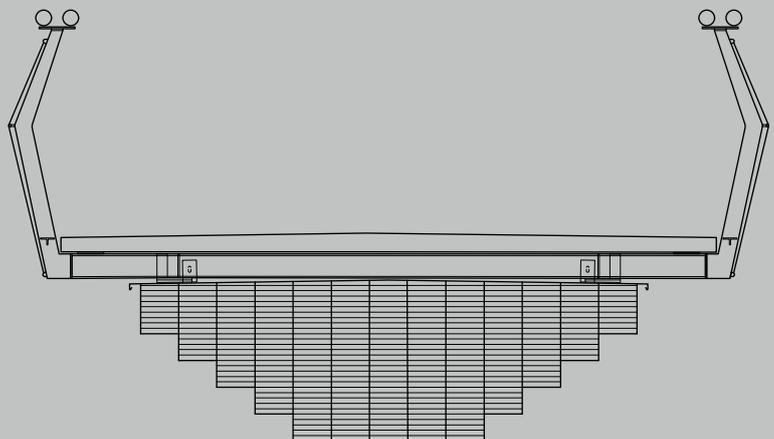


spezial | FEBRUAR 2020



# spezial

Integrale Massivholzbrücken  
Die »Stuttgarter Holzbrücken« im Remstal



3 **Vorwort**  
»Stuttgarter Holzbrücke«

7 **Einführung**  
Holz – ein »neuer« Baustoff

**Technischer Teil**

16 Versuche zur Tragfähigkeit: geklebter Holz-Beton-Stoß

18 Statik und Konstruktion

24 Fertigungstechnik Carbonbeton

26 Fertigung und Montage

**Dokumentation Brücken im Remstal**

38 Standort Weinstadt »Birkelspitze«

42 Standort Weinstadt »Häckermühle«

46 Standort Urbach

51 **Anhang**  
Bildnachweis  
Quellen

**Herausgeber**

Holzbau-Offensive Baden-Württemberg  
Ministerium für Ländlichen Raum und  
Verbraucherschutz  
Kernerplatz 10  
70182 Stuttgart

**Bearbeitung**

Thorsten Helbig  
Professor Peter Cheret

**Lektorat**

Arnim Seidel

**Gestaltung**

Hana Hubáľková



»Stuttgarter Holzbrücke«

Von Amber Sayah

Wer durch den »Ingenieurbauführer Baden-Württemberg« von Jörg Schlaich und Matthias Schüller blättert, stößt auch auf einige Holzbrücken wie die Murgbrücke in Forbach, die Jagstbrücke in Unterregenbach oder die auf mächtigen Steinpfeilern ruhende Rheinbrücke in Bad Säckingen. Bei all diesen herausragenden Beispielen der Ingenieurbaukunst handelt es sich jedoch um historische Brücken beziehungsweise um Nachbauten historischer Brücken aus dem 19. und 20. Jahrhundert. Für moderne Holzbrücken findet sich in dem Buch dagegen kein einziges Exempel – und das nicht, weil die Verfasser jüngere Mitglieder dieser Brückenfamilie übersehen hätten, sondern weil Holz im Zuge der Industrialisierung und Automatisierung von Stahl und Stahlbeton verdrängt wurde. Nach letzten, mangelhaften Versuchen in den 1970er und -80er Jahren brach die Tradition ab. Heutigen Anforderungen schien das Material nicht zu genügen, es galt als witterungsempfindlich, wartungsintensiv und unwirtschaftlich. Seine positiven Materialeigenschaften, durch die es sich gerade für ein umweltfreundliches, nachhaltiges Bauen empfiehlt, waren darüber in Vergessenheit geraten.

Im Hochbau erlebt Holz seit einigen Jahren eine Renaissance. Mehrgeschossige Holzgebäude sind in den Städten vorläufig noch Exoten, ihre urbane Verbreitung nimmt aber rasant zu. Die aus zwei vom Land, von der EU und baden-württembergischen Unternehmen geförderten Forschungsprojekten hervorgegangene Stuttgarter Holzbrücke ist nun ein Vorstoß, diesem alten Material im Forstland Baden-Württemberg (und darüber hinaus) auch im Brückenbau neue Geltung zu verschaffen. Zum Einsatz kommt sie zwar erstmals im Remstal, wo sie sich bei der interkommunalen Gartenschau 2019 an drei Standorten ins ausgedehnte Wegenetz eingliedert, mit dem dieser Landschaftsraum für Fußgänger und Radfahrer erschlossen wird. Ihr Name nimmt jedoch Bezug auf die international gerühmte Stuttgarter Ingenieurbaukultur und deren Tradition einer interdisziplinären Zusammenarbeit von Architekten, Ingenieuren und universitärer Forschung. So war an der Konzeptstudie, die der Entwicklung dieser neuartigen »integralen Holzbrücke« vorausging, auch die in der Holzbauforschung führende Materialprüfanstalt der Universität Stuttgart beteiligt.

»Die Baukunst ist unteilbar«, schreiben die Autoren des Reiseführers zu Ingenieurbauten im Südwesten. Ganzheitliche Qualität als Ergebnis eines Zusammenwirkens von guter Form, tragender Konstruktion, Technologie und Landschaftsbezug setze daher geradezu zwingend ein Bündnis der Disziplinen voraus. Klassiker dieser fächerübergreifenden Allianzen mit ihren großen Namen Fritz Leonhardt und Erwin Heinle, Frei Otto und Günter Behnisch, Jörg Schlaich und Rudolf Bergemann sind der Stuttgarter Fernsehturm, das Münchner Olympiastadion, das in alle Welt exportierte Dachtragwerk des Daimlerstadions oder auch das Membrandach der Expo Shanghai. Mit der »Stuttgarter Holzbrücke« stellen sich deren Konstrukteure folglich nicht nur explizit in die Tradition des Ingenieurbaus »made in Stuttgart«, sondern formulieren auch den hohen Anspruch, der sich mit diesem verbindet.

Zugleich beschreiten Cheret Bozic Architekten und Knippers Helbig Ingenieure in Zusammenarbeit mit der Firma Schaffitzel Holzbau ganz neue Wege, indem sie ihrem Entwurf den lange missachteten Baustoff Holz zugrunde legen. Ein Vorreitermodell war die Brücke aus geschichtetem Vollholz, die sie 2004 zu einem Wettbewerb im nordrhein-westfälischen Arnsberg einreichten, die aber als zweiter



Standort Urbach

Preis nicht zur Ausführung kam. Leichtigkeit und schlanke Form, Merkmale wie sie besonders den Stuttgarter Ingenieurbau der Schlaich-Schule prägen und in der extrem dünnen Ditzinger Stahlbrücke, Baujahr 2018, von Mike Schlaich auf die Spitze getrieben werden, konnten jedoch damals wie heute nicht das oberste Ziel sein. Holz hat Körper, es widerspricht seinem Wesen, sich dünn zu machen. An Eleganz mangelt es der Stuttgarter Holzbrücke dabei keineswegs, im Gegenteil. Mit ihrem fein geschwungenen Tragwerk ist sie wie gemacht für den idyllischen Naturraum des Remstals. Worum es aber vorrangig ging, war die Vorzüge des Materials mit einer Bauweise zu verbinden, die dessen Nachteile aufhebt und es so für den modernen Brückenbau zu rehabilitieren, kurzum: eine robuste, haltbare und wartungsarme Holzbrücke zu entwickeln.

Holz ist der einzige regenerative Baustoff. Rund sechzig Jahre beträgt die Lebensdauer der Stuttgarter Brücke, schätzen die Architekten und Ingenieure – eine ausreichende Spanne also, dass neue Bäume nachwachsen können. Zudem vermag Holz das klimaschädliche Kohlendioxid langfristig in großen Mengen zu speichern und so die Emission von Treibhausgasen zu reduzieren, es legt in der Regel kurze Transportwege zurück – Tannen- und Fichtenholz der Stuttgarter Brücke stammen aus dem Allgäu – und es hat einen hohen Vorfertigungsgrad, so dass Holzbrücken aufgrund ihrer kurzen Bauzeiten kostengünstiger zu errichten sind als entsprechende Bauwerke aus Stahl oder Beton. An den verschiedenen Standorten in Weinstadt war es jeweils eine Sache von Stunden, den fertig angelieferten Brückenkörper aus verklebtem Brettschichtholz auf die Widerlager zu heben und einzubetonieren.

Den für die Langlebigkeit maßgeblichen konstruktiven Holzschutz übernimmt bei der Stuttgarter Brücke die Geh- und Fahrbahnebene. Funktional dem Dach bei historischen Brücken vergleichbar, liegt sie auf dem luftumspülten Brückenkörper und schützt diesen vor Witterungseinflüssen. Wesentliches Merkmal ist jedoch die neuartige monolithische Verbindung von Tragwerk und Widerlager: Dabei werden in den Trägerenden eingelassene Gewindestäbe in den Stahlbetonfundamenten verankert und einbetoniert. Neuralgische Punkte wie Dehnfugen und Lagerkonstruktionen gehören bei diesem integralen Brückentypus deshalb der Vergangenheit an. Zur Sicherheit messen eingebaute Sensoren dennoch kontinuierlich die Feuchtigkeit im Massivholzkörper, damit bei einem kritischen Anstieg rechtzeitig eingegriffen werden kann. Ein Problem allerdings, das sich durch den in Weinstadt gewählten Carbonbetonbelag ergab, waren die Fugen zwischen den Platten. Abgedichtet wurden sie letztendlich mit Bleiwolle, einem alten, weitaus haltbareren Material als Silikon, das bereits die Baumeister gotischer Dome seiner Dauerhaftigkeit wegen schätzten. Heute kommt es im Denkmalschutz noch häufig zum Einsatz, aber dass sich in der Stuttgarter Holzbrücke neueste Fertigungstechnik und historisches Handwerk vereinen, hat schon ganz besonderen Charme.

2017 wurde die Stuttgarter Holzbrücke in der Kategorie Konzepte mit dem Deutschen Holzbaupreis ausgezeichnet. Beeindruckt zeigte sich die Jury vor allem vom interdisziplinären Ansatz der Arbeit, die auch die »wichtigen Aspekte des konstruktiven Holzschutzes bis hin zu einem qualitätssichernden Monitoring für ein frei bewittertes Holzbauwerk berücksichtigt«. Die Konstruktion ließe überdies eine »spektakulär zügige Montage« erwarten. »Wieder mal der Süden« titelte das Online-Portal »BauNetz« damals anerkennend, und da der Preis in allen vier Sparten nach Bayern und Baden-Württemberg vergeben worden war, schob es die Frage nach: »Heißt das, gute Holzarchitektur entsteht in München, cleveres Engineering in Stuttgart?« Für den Ingenieurbau zumindest kann man die Frage bejahen: Mit der Stuttgarter Brücke befindet sich das Land auf einem exzellenten Holzweg.



Vorfertigung der blockverleimten Brett-schichtholzträger bei Schaffitzel Holz-industrie in Schwäbisch Hall:  
Die in unterschiedlichen Krümmungsradien verleimten, je 20 cm breiten Brett-schicht-holzträger werden zu einem 2,60m breiten, massiven Block verleimt. Das Tannen- und Fichtenholz stammt aus dem Allgäu.



## Holz – ein »neuer« Baustoff

Der Baustoff Holz hat sich seit der Jahrtausendwende enorm entwickelt. Im Vergleich zum traditionellen Bauholz, das wir aus der historischen oder auch aus konventionellen neuzeitlichen Bauweisen kennen, ist das »neue Holz« deutlich leistungsfähiger und auch vielseitiger einsetzbar.

Dies ist zunächst einmal Verarbeitungstechniken zu verdanken, welche das naturgewachsene Holz (das einzige nachwachsende Baumaterial) mit seinen bisweilen etwas sperrigen oder genauer gesagt diskontinuierlichen Materialeigenschaften »berechenbarer« für den Einsatz in Bauwerken macht.

So werden zum einen die natürlichen »Wuchsfehler«, wie zum Beispiel eingewachsene Äste aus den Brett-lamellen ausgeschnitten und so nur die ungestörten und somit sicher belastbaren Holzlamellensegmente durch eine hoch beanspruchbare Keilzinkenverleimung zu einem (hinsichtlich mechanischer Eigenschaften sortierten) »homogenisierten« Holzelement wieder zusammengesetzt.

Bei anderen Methoden wird das Holz mit unterschiedlichen Methoden zerkleinert oder zum Beispiel in Furnierlagen geschält, um es dann zur Sicherung definierbarer Materialkennwerte wieder zielgerichtet zusammensetzen. Durch intelligentes Schichten und Verleimen der Holzlagen können dauerhaft formstabile Bauelemente geschaffen werden; wesentliche Voraussetzung beim heutigen Bauen mit hohem Vorfertigungsgrad. Dabei hat die Fortentwicklung der vor nun mehr als 100 Jahren erstmals eingesetzten Holzleimbau-technologie in den letzten zwei Jahrzehnten noch einmal neue Holzbauprodukte und Element-fügungen ermöglicht.

Die voranschreitende Digitalisierung im Bauwesen erlaubt darüber hinaus eine noch engere Verknüpfung von detaillierter Planung und hochpräziser (Vor-)Fertigung. Damit wird das, schon im traditionellen Zimmererhandwerk angelegte, hohe Vorfertigungsniveau der modernen Holzbauindustrie noch weiter begünstigt.

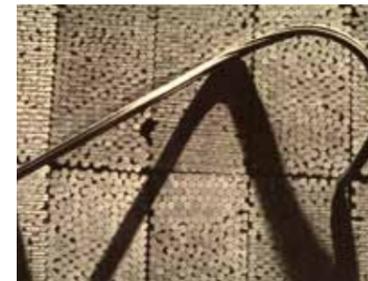
Aufgrund der großen Technologiesprünge im modernen Holzbau sprechen viele Experten vom 21. Jahrhundert bereits als dem »Jahrhundert des modernen Holzbaus«; nach dem Siegeszug des Stahlbetons im 20. Jahrhundert und dem mit der Industrialisierung aufgekommenen Stahl im 19. Jahrhundert.

Anders als seine historischen Gegenspieler Beton und Stahl gibt der Holzbau jedoch Antworten auf immer drängender werdende Fragen unserer Zeit; beginnend beim verantwortlichen Umgang mit den natürlichen (und endlichen) Ressourcen bis hin zu den Auswirkungen der durch die bei Herstellung, Ferti-gung, Errichtung und schließlich Entsorgung eines Bauwerks entstehenden Emissionen.

Dabei ist Holz das geblieben, was es immer war: ein natürlicher, nachwachsender Rohstoff.

Es kommt einem Naturwunder gleich, dass dazu unter klimatisch günstigen Bedingungen zum Wachsen eines Baumes kaum mehr benötigt wird als ausreichend Erde zum Wurzeln sowie Licht und Wasser für die Photosynthese. Dabei wird ja bekannter Weise Kohlendioxid aus der Umgebung gebunden und in kostbaren Sauerstoff und Glucose umgewandelt.

Vor dem Hintergrund des nun deutlich spürbaren Klimawandels aufgrund der noch immer stetig ansteigenden CO<sub>2</sub> Konzentration in der Atmosphäre ist leicht einzusehen, weshalb die Eigenschaft von Holz als Baustoff, CO<sub>2</sub> langfristig in Bauwerke einzulagern, so wichtig ist.



Biege- und Verformungsversuche des finnischen Architekten und Designers Alvar Aalto in den 1930er und 1940er Jahren

Während zur Zementherstellung oder Eisenerzschmelze aus den hohen dazu benötigten Energiemengen entsprechend hohe Kohlendioxidemissionen resultieren, gelingt mit Massivholzbauten oft eine negative CO<sub>2</sub>-Bilanz: es bleibt mehr Kohlendioxid im Bauwerk gespeichert als zur Erstellung emittiert wurde.

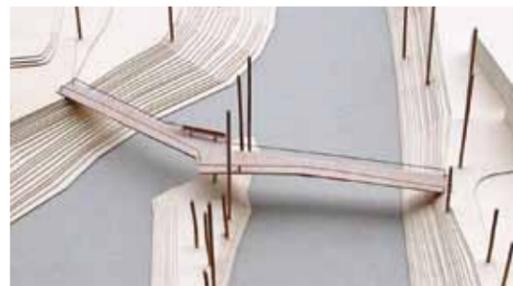
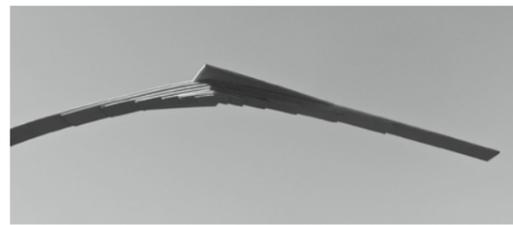
Angesichts der Fülle an guten Argumenten für den vermehrten Einsatz von Holz im Bauwesen verwundert es wenig, dass die Marktanteile stetig steigen. Bundesweit ist die Holzbauquote im Nichtwohnbau auf fast 20 Prozent gestiegen. Baden-Württemberg ist in der Zahl der Neubauten aus Holz führend und unterstreicht seine Vorbildfunktion mit der im November 2018 initiierten Holzbau-Offensive.

Während nun der Baustoff Holz im Hochbau im 21. Jahrhundert eine erstaunliche Renaissance erlebt, vollzieht sich im Brückenbau jedoch eine nur sehr zögerliche Entwicklung. Hartnäckig halten sich die ehemals sehr wohl begründeten Vorbehalte gegenüber der Verwendung von Holz im Außenbereich; schließlich haben allzu viele Kommunen als »Baulastträger« eine eher leidvolle Erfahrungen mit vielen in den letzten drei Jahrzehnten erbauten Holzbrücken machen müssen. Die Ursachen waren dabei fast immer dieselben: unzureichender konstruktiver Holzschutz vor Feuchtigkeit führt zu stauer Nässe und damit Zerstörung der Holzsubstanz; das Ausbleiben einer notwendiger Weise fachgerechten Überwachung und Wartung führt schließlich zum wirtschaftlichen Totalverlust.

Im Jahr 2013 formierte sich eine Expertengruppe mit dem erklärten Ziel, einen neuen, den Anforderungen aus dem konstruktiven Holzschutz genügenden Brückentyp mit effizienter, einfach durchzuführender Überwachung zu entwickeln.

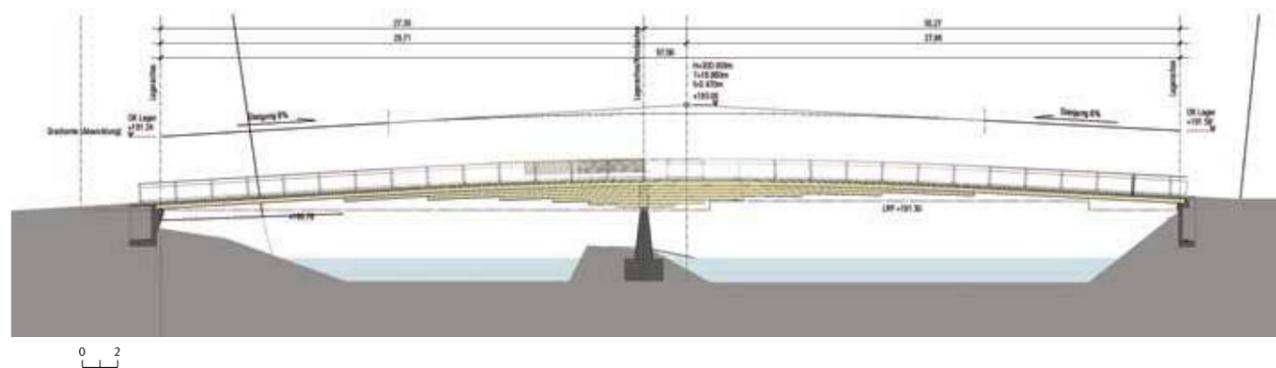
Dazu wurde das von der Clusterinitiative Forst und Holz des Landes Baden-Württemberg geförderte Forschungs- und Entwicklungsprojekt »Stuttgarter Holzbrücke, Pilotprojekt zur Entwicklung einer neuen Brückengeneration« gestartet. Die beteiligten Akteure: Knippers Helbig Ingenieure, Cheret Bozic Architekten, die MPA der Universität Stuttgart und die Firma Schaffitzel Holzindustrie basierten die Entwicklung auf einer Analyse der häufigsten Schadensursachen an bestehenden Holzbrücken. Dabei wurden mögliche Ansätze für langfristig schadenfreie Konstruktionen samt deren technische Machbarkeit untersucht. Die jeweils daraus resultierenden Herstellkosten wurden dabei vergleichend gegenübergestellt.

Der Ausgangspunkt für die Neuentwicklung wurde bereits 2006 mit einem im Wettbewerb prämierten Entwurf für eine Fuß- und Radwegbrücke über die junge Ruhr bei Arnsberg gelegt. Dort wurde erstmals eine Massivholzbrücke in Form

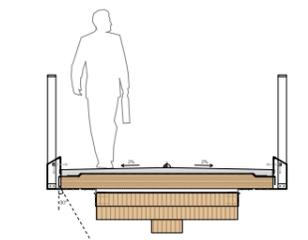
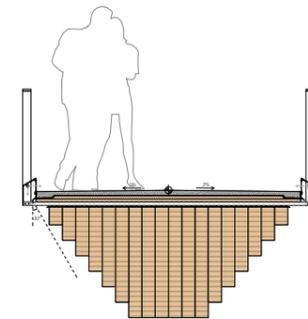
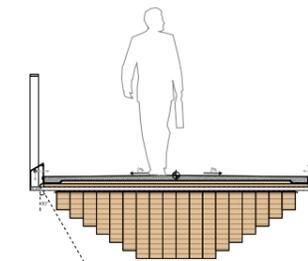


Fuß- und Radwegbrücke in Arnsberg/NRW 2005  
Realisierungswettbewerb, 2. Preis,  
Knippers Helbig Ingenieure und  
Cheret Bozic Architekten

Erstmals wurde die Machbarkeit eines Überbaus als blockverleimter Träger aus Brettspertholz untersucht und nachgewiesen.



Testentwurf: Isometrische Darstellung Brückenüberbau und Gehbelag sind konstruktiv entkoppelt, so können die Ausbauelemente standortspezifisch entwickelt werden.



Testentwurf: Schnitte von Ausbauelementen blockverleimter Träger. Aus horizontaler oder vertikaler Anordnung der Brettschichtholzlamellen resultieren fertigungstechnisch bedingte Geometrievariationen. Während einachsige Krümmungen über die entsprechende geometrische Definition im Leimbett einfach herzustellen sind, bedürfen zweiachsige Krümmungen aufwändiger Leimverfahren oder spanender Nachbearbeitung und sollten daher vermieden werden.

eines blockverleimten Trägers in Kombination mit einem Brettspertholzdeck vorgeschlagen. Brettspertholz, damals noch wenig verwendet beim Bauen, hat sich seither zu einem Katalysator des modernen Holzbaus entwickelt.

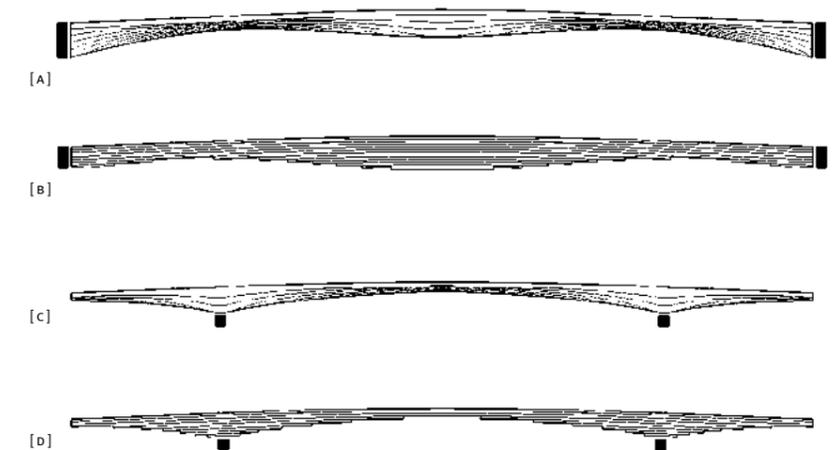
### Forschungsprojekt »Machbarkeitsstudie Stuttgarter Holzbrücke«

Für die Machbarkeitsstudie erarbeiteten das interdisziplinäre Team aus Architekten (Cheret Bozic) und Ingenieuren (Knippers Helbig) verschiedene Testentwürfe für massive Holzbrücken an zwei konkreten Standorten entlang der Rems in Weinstadt. Die Konstruktionen wurden hinsichtlich Fertigung, Transport und Montage in Abstimmung mit den Experten von Schaffitzel Holzindustrie optimiert und mit einer Grobkostenschätzung hinterlegt.

Das Ergebnis ist ein neuartiger Brückentypus, der im Wesentlichen aus folgenden bautechnischen Details besteht:

- Die über den Holzbrückenträger auskragende Geh- und Fahrbahnebene übernimmt nach dem Vorbild historischer, langlebiger gedeckter Holzbrücken die Funktion des schützenden Daches. Sie liegt über einem frei belüfteten Querschnitt auf dem hölzernen Brückenkörper, der zusätzlich mittels einer diffusionsoffenen Abdichtung zusätzlich gegen Feuchtigkeitszutritt gesichert ist. Der Gehbelag kann asphaltiert oder auch mit einem offenen Bohlenbelag realisiert werden. Der Vorteil dieses Aufbaus liegt im einfachen und unkomplizierten Austausch der besonders hoch beanspruchten Beläge, die eine deutlich geringere Lebensdauer als das Brückentragwerk haben.
- Der Holzkörper ist so (nach hinten fliehend) abgetreppt, dass eine Benässung durch Schlagregen ausgeschlossen werden kann. Dabei sind die fertigungstechnischen Vorteile der Blockverleimung so genutzt, dass erstmals auch neuartige Gestaltformen möglich werden. Dafür sind sowohl eine vertikale als auch horizontale Gruppierung der Brettschichtholzsegmente mit jeweils unterschiedlichem Gestaltungspotential möglich (siehe Testentwurf).

Testentwurf:  
Beidseitig eingespannter Brückenträger mit [A] vertikaler und [B] horizontaler Anordnung der BSH-Lamellen.  
Brückenträger als Mehrfeldträgersystem mit [C] vertikaler und [D] horizontaler Anordnung der BSH-Lamellen.



Grundsätzlich ist die Holzkonstruktion somit vor freier Bewitterung geschützt. Der so optimierte konstruktive Holzschutz geht sogar über das aktuell geltende Regelwerk hinaus (siehe Qualitätsgemeinschaft Holzbrückenbau e.V. DIN 1074:09-2006).

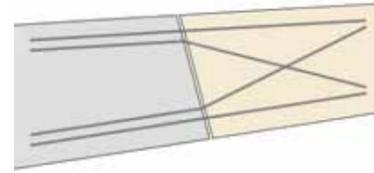
Die in Deutschland angenommene theoretische Nutzungsdauer von sechzig Jahren (siehe Ablöserichtlinie), die in unserem Nachbarland Schweiz sogar zu 80 Jahren angenommen wird, entspricht somit nahezu den Umtriebszeiten, also der Wachstumsdauer des Baumes bis zur »Erntereife« in der Forstwirtschaft. Von der Errichtung der Brücke bis zum Ende der theoretischen Lebensdauer ist der Baustoff faktisch nachgewachsen.

Ein weiterer konzeptioneller Bestandteil ist das Monitoring des Holztragwerks. Hierfür werden Sensoren in den Massivholzkörper integriert, welche, jederzeit abrufbar, die Holzfeuchte im laufenden Betrieb misst. Bei Begehungen reicht es dann aus, auf etwaige augenscheinliche Beschädigungen zu achten und sich ansonsten auf die Auswertung der Messreihen zu verlassen.

### Brücke ohne Lager – Entwicklung der ersten integralen Holzbrücke

Im Gegensatz zu allen bisher gebauten Holzbrücken ist die »Stuttgarter« eine integrale Brücke. Sie kommt also ohne wartungsanfällige Lagerkonstruktionen und die sonst für die Längenausdehnung notwendigen Fugen am Brückende aus.

Dazu wurde von den Ingenieuren eigens ein monolithischer Anschluss zwischen Holzträger und Betonwiderlager entwickelt und rechnerisch bemessen, bei dem im Holz eingeklebte Gewindestangen direkt in die Bewehrung des Stahlbetons eingebettet sind. Die Machbarkeit der neuartigen Verbindung wurden 2015 anhand eines Prototyps an der Materialprüfanstalt der Universität



Schematische Darstellung des Übergangs Widerlager-Überbau (Konzeptphase)  
Im Holzbrückenkörper eingeleimte Gewindestangen sind im Widerlager einbetoniert. Während die Normalkräfte über faserparallel angeordnete Stäbe und Kontakt übertragen werden, realisieren im Winkel von 45 Grad eingebrachte Gewindestangen den Schubkraftübertrag.

Visualisierung »Stuttgarter Holzbrücke« als fugenloses Tragwerk  
Bei der »Brücke ohne Lager« ersetzt ein semi-monolithischer Übergang das konventionelle Brückenlager. Die Stahlstäbe koppeln die Zugkräfte zwischen Beton und Holz, in der vertikalen Fuge zwischen dem Betonfundament und der Stirnfläche des Holzkörpers wird Druck übertragen.



Standort Urbach: Inspektion des fertiggestellten Tragwerks



Am Holzüberbau verschraubte Stahlwinkel übertragen im Endzustand die Schubkräfte und bilden die Auflager im Bauzustand. Die Fuge zwischen Stirnholz und Stahlbetonfundament wird nach dem Einbetonieren der Gewindestangen mit schwindarmem Vergussmörtel vollflächig gefüllt.

Stuttgart im Rahmen des Forschungsprojekts »Integraler, geklebter Holz-Beton-Widerlagerstoß« erprobt und die Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit der neuartigen Verbindung durch Belastungsversuche und einen Prototypen im Dauer-test bestätigt (siehe Seite 16–17).

In den begleitenden statischen Untersuchungen zur erstmaligen Adaption des Konzepts »integrale Brücke« für ein Tragsystem mit Holz als primär tragendem Baustoff konnten die Materialeigenschaften des Naturwerkstoffs als günstig für den Einsatz im Tragwerksverbund identifiziert werden.

Das Forschungsprojekt konnte 2015 in Form einer Machbarkeitsstudie für einen konkreten Brückenstandort im Remstal abgeschlossen werden. Das mit der Konzeption als integrale Brücke erweiterte Ergebnis des Forschungsprojekts wurde 2017 mit dem Deutschen Holzbaupreis ausgezeichnet.

Aus der Würdigung durch die Jury:

*Die Arbeit wird von einem interdisziplinären Ansatz geprägt. Das beeindruckende Ergebnis eines offensichtlich intensiven Formfindungsprozesses zeigt eine materialgerechte Konstruktion, die auch die besonders wichtigen Aspekte des konstruktiven Holzschutzes bis hin zu einem qualitätssichernden Monitoring für ein frei bewittertes Holzbauwerk berücksichtigt. Auch wenn die konkrete Umsetzung der Vorfertigung und der Baustellenlogistik noch nicht gezeigt wird, sind das System und die dargestellte Konstruktion jedoch nachvollziehbar, so dass eine spektakulär zügige Montage möglich scheint.*

*Der Wettbewerbsbeitrag wurde von der Jury nicht nur unter dem Aspekt der »Komponenten/Konzepte« gelobt, sondern auch im Hinblick auf eine erfolgreiche Zusammenarbeit von Wissenschaft, Planung und Ausführung. Die Ausrichtung einer Systemlösung auf verschiedene Standorte und damit variierende Entwurfsparameter bleibt flexibel, so dass der Wiedererkennungswert sowohl im Erscheinungsbild als auch bei der technischen Umsetzung sichergestellt ist. Der Holzbau im Allgemeinen und besonders der Holzbrückenbau können für die »Ausstattung« einer Gewässerregion mit im Moment geplanten sechs Holzbrücken dankbar sein.*

## Die »Stuttgarter Holzbrücken« im Remstal

Der Bedarf an »identitätsstiftenden und verbindenden« Fuß- und Radwegbrücken im Zuge der interkommunalen Remstal Gartenschau 2019 war der Anlass, die Ergebnisse aus der Machbarkeitsstudie in die Marktreife zu überführen.

Mit der Eröffnung der Remstalgartenschau am 10. Mai 2019 konnten schließlich drei Brücken vom Typ »Stuttgarter Holzbrücke« der öffentlichen Nutzung übergeben werden – zwei davon in Weinstadt und eine weitere in Urbach. Die Querungen weisen lichte Öffnungsweiten von 13,60 m und 32,20 m auf. Die Brückengeometrie ist so ausgelegt, dass der Holzüberbau auch bei maximalem Hochwasser mit ausreichender Sicherheit über dem Wasserspiegel liegt. Wie im Konzept entwickelt, wurden die Holzbrückenkörper als komplett vorgefertigte Segmente auf die vorab hergestellten Widerlager eingehoben und nach geometrischer Justage durch Ausbetonieren des Bewehrungsbereiches monolithisch verbunden.

Erstmals in der Geschichte des Holzbaus konnten somit, nicht zuletzt auch dank der Förderung durch Mittel aus dem Europäischen Fond für regionale Entwicklung (EFRE), integrale Massivholzbrücken realisiert werden.

### Brückenausbau: flexible Gestaltung und redundanter Feuchteschutz

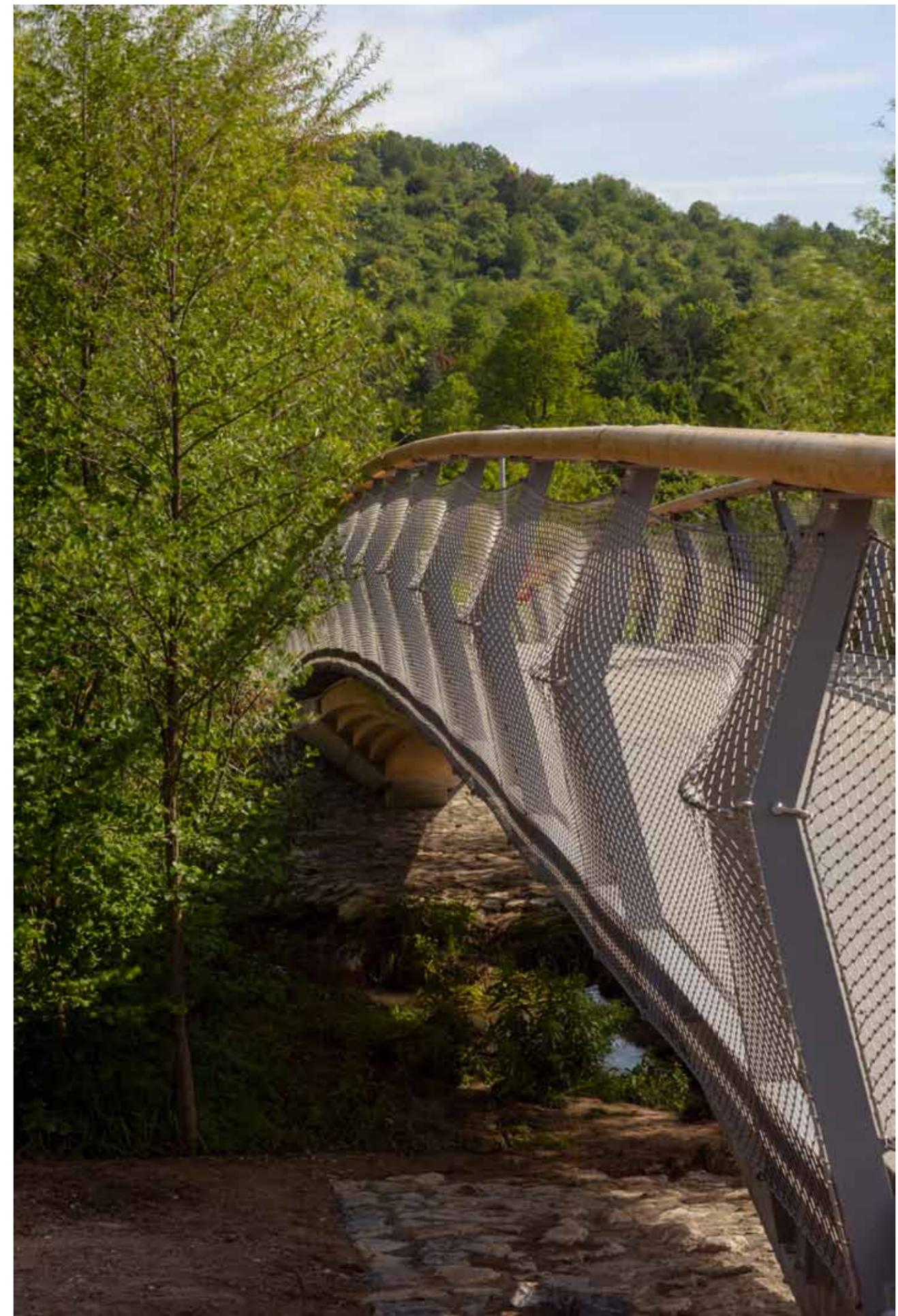
Infolge der konsequenten Trennung von Brückentragkörper und Belageebene sind verschiedene Bauteilaufbauten und Materialien möglich. Dazu wurde von den Planern ein Bauteilkatalog erarbeitet, in dem je nach Belagsmaterial die unterschiedlichen Bauteilaufbauten aufgezeigt wurden. Diese wurden insbesondere hinsichtlich der Tauglichkeit und des zu erwartenden Aufwands beim Bauunterhalt bewertet.

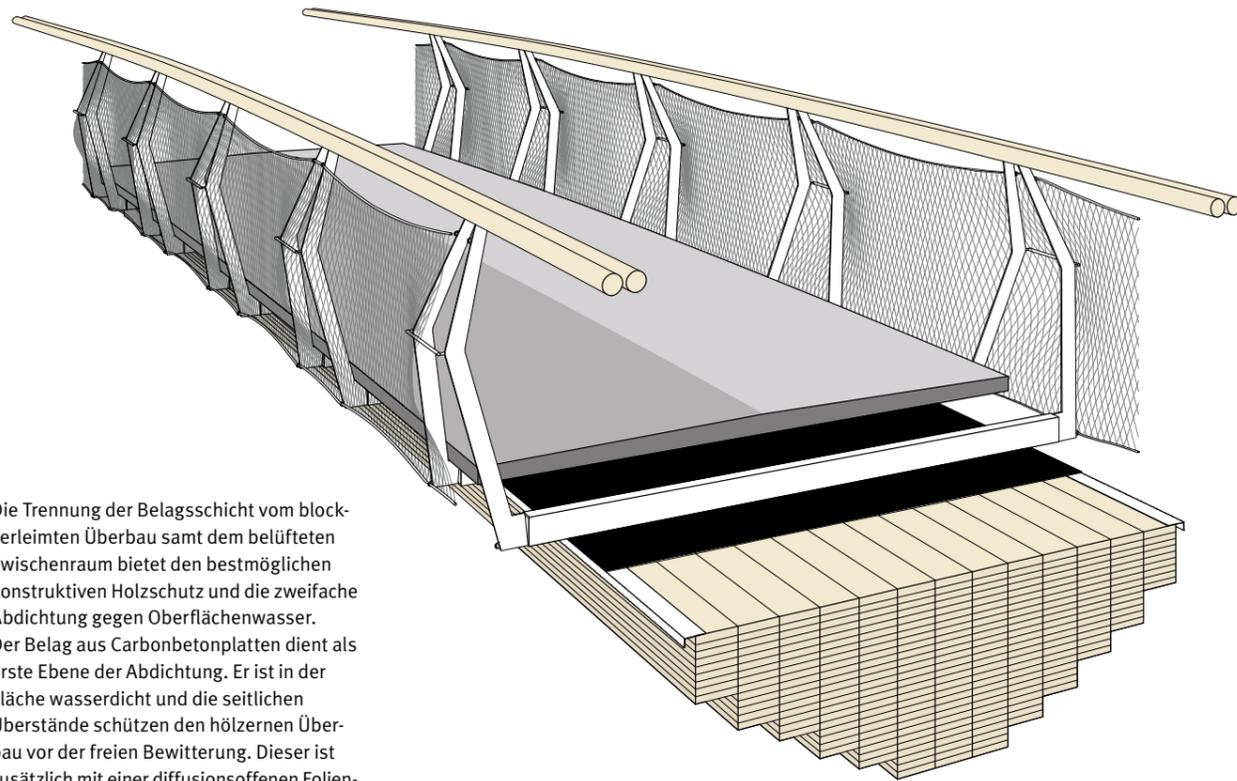
Der hoch beanspruchte Gehbelag ist aus karbonfaserbewehrtem Feinkornbeton hergestellt (siehe Seite 24–25).

Die Geländer bestehen aus Pfosten aus robustem, pulverbeschichtetem Flachstahl, bespannt mit einem Seilnetz aus rostfreiem Stahl sowie aufgelegten Handläufen aus Lärchenholz-Rundstäben.

Die »Stuttgarter Holzbrücke« ist ein neuartiger Typus einer integralen, blockverleimten Brettschichtholzbrücke. Sie ermöglicht nicht nur eine nachhaltige und die Möglichkeiten des modernen Holzbaus nutzende neue technische Lösung, sondern eröffnet dem Holzbrückenbau auch die Entwicklung einer eigenständigen und zeitgenössisch-modernen Gestaltsprache.

Standort Weinstadt  
»Birkelspitze«





Die Trennung der Belagsschicht vom blockverleimten Überbau samt dem belüfteten Zwischenraum bietet den bestmöglichen konstruktiven Holzschutz und die zweifache Abdichtung gegen Oberflächenwasser. Der Belag aus Carbonbetonplatten dient als erste Ebene der Abdichtung. Er ist in der Fläche wasserdicht und die seitlichen Überstände schützen den hölzernen Überbau vor der freien Bewitterung. Dieser ist zusätzlich mit einer diffusionsoffenen Folienabdichtung belegt.

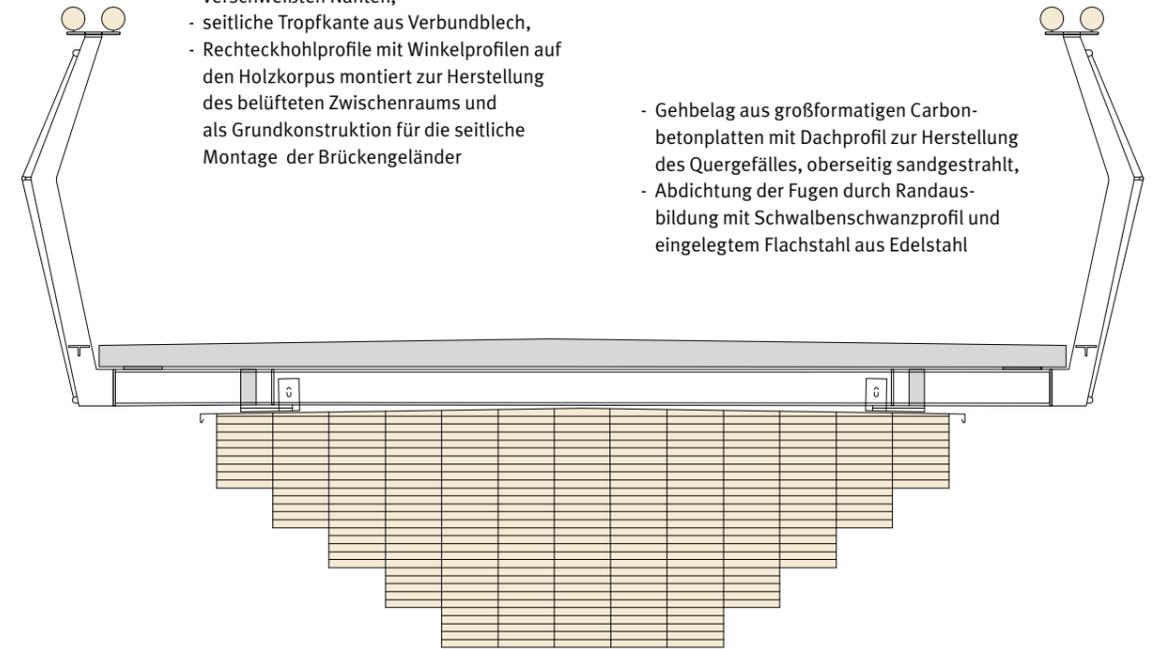


Die Abdichtung und die Grundkonstruktion aus Rechteckhohlprofilen wurden werksseitig aufgebracht. So konnte bereits für den Transport und während der Montage der konstruktive Holzschutz gewährleistet werden.



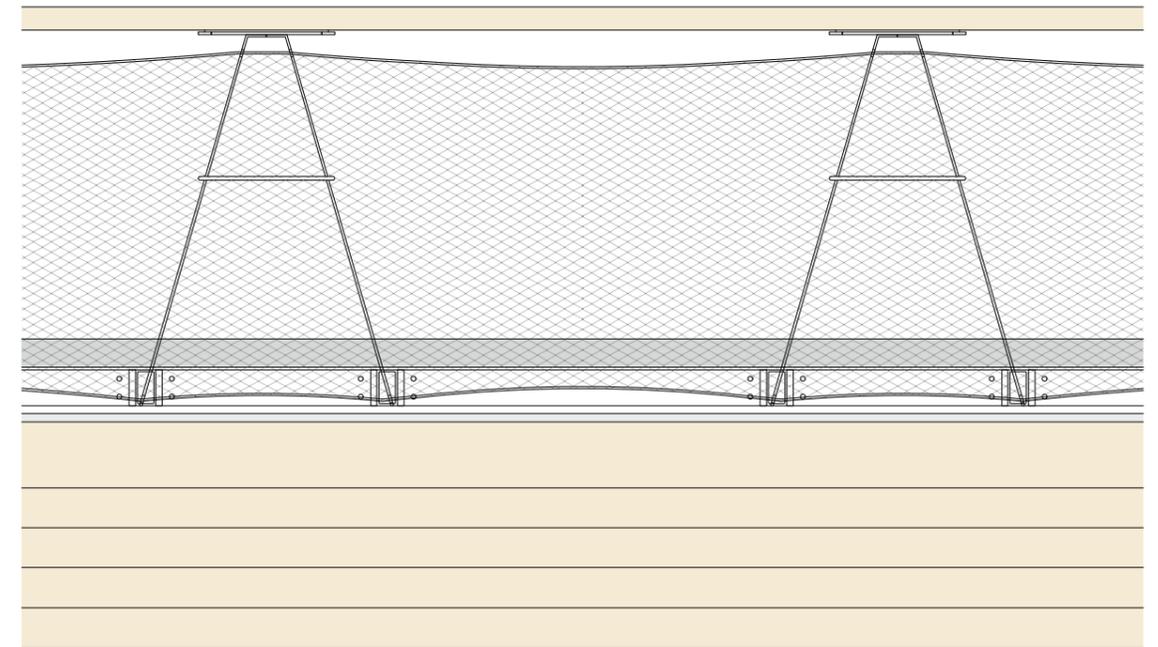
#### Bauteile und Aufbauten

- Holzkorpus mit oberseitigem Quergefälle,
- Trennlage / Schutzvlies + diffusionsoffene Folienabdichtung, lose aufliegend mit verschweißten Nähten,
- seitliche Tropfkante aus Verbundblech,
- Rechteckhohlprofile mit Winkelprofilen auf den Holzkorpus montiert zur Herstellung des belüfteten Zwischenraums und als Grundkonstruktion für die seitliche Montage der Brückengeländer



- Gehbelag aus großformatigen Carbonbetonplatten mit Dachprofil zur Herstellung des Quergefälles, oberseitig sandgestrahlt,
- Abdichtung der Fugen durch Randausbildung mit Schwalbenschwanzprofil und eingelegtem Flachstahl aus Edelstahl

- Geländer, bestehend aus Flachstahldoppelpfosten, pulverbeschichtet,
- Brüstungsbekleidung mit Seilnetz über Randseilen aus Edelstahl,
- Handlauf Rundholzprofile aus Lärchen-Brettschichtholz



Schnitte M 1:25

## Versuche zur Tragfähigkeit: geklebter Holz-Beton-Stoß

Bislang liegen in Europa und Nordamerika keine nachweislichen Erfahrungen mit der biege- und querkraftsteifen Verbindung, d.h. Volleinspannung von großformatigen Brettschichtholz (BSH) bzw. BSH-Verbundbauteilen mit Stahlbeton-Bauteilen über in Holz eingeklebte und im Betonteil vergossene Betonrippenstäbe vor. Im Falle der Volleinspannung eines massiven Brückenhauptträgers ergibt sich die Anforderung eine große Anzahl von Bewehrungsstäben in vergleichsweise enger Anordnung im Holzquerschnitt zu verkleben. Durch den Verguss der Stangen im Stahlbeton werden sodann im Übergangsbereich Holz/Beton schwind- und quellbedingte Formänderungen des Holzes einschließlich der hierin eingeklebten Stangen vollständig behindert, woraus Zwangsspannungen und ggf. Rissbildungen rechtwinklig zur Faserrichtung mit Ausdehnung in Brückenlängsachse entstehen können. Zur experimentellen Validierung des Bauprinzips und des Trag- und Rissverhaltens eines Momenten- und Querkraftanschlusses von großformatigen BSH und Stahlbetonbauteilen mittels eingeklebter/vergossener Betonrippenstäbe wurden zwei Großbauteilversuche durchgeführt.

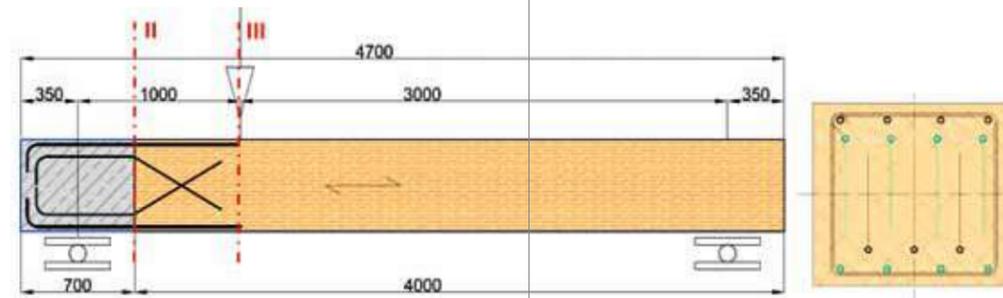
Es wurden zwei Brettschichtholz-Stahlbeton-Prüfkörper in unterschiedlichen Konfigurationen und Bewehrungsdichten hergestellt. Bei beiden Prüfkörpern betragen die Querschnittsabmessungen jeweils 54 x 60 cm. Die BSH-Verbundbauteile, aufgebaut aus drei BSH-Einzelteilen wiesen nominal die Güteklasse GL24h auf. Die Längen der Holzbauteile betragen bei Prüfkörper P1 4 m und bei Prüfkörper P2 3,5 m. An jeweils eine der beiden Stirnseiten der BSH-Verbundbauteile wurden mittels Betonstabstählen unterschiedlich dimensionierte Stahlbetonteile anbetoniert. Holzseitig wurden die Betonstabstähle jeweils eingeklebt.

Bei dem Prüfkörper P1 schließt an den 4 m langen BSH-Verbundträger ein 0,7 m langes Betonteil an (siehe Bild 1). Die Verbindung erfolgte mittels insgesamt 15 Betonstabstählen mit 16 mm Durchmesser. Hierbei sind 8 Betonstabstähle faserparallel und 7 Betonstabstähle geneigt um  $\pm 30^\circ$  im Holzteil eingeklebt. Der Prüfkörper P2 unterscheidet sich im Wesentlichen durch ein längeres Betonteil mit 1,5 m Länge sowie durch eine dichtere Betonstabstahlanordnung (siehe Bild 2).

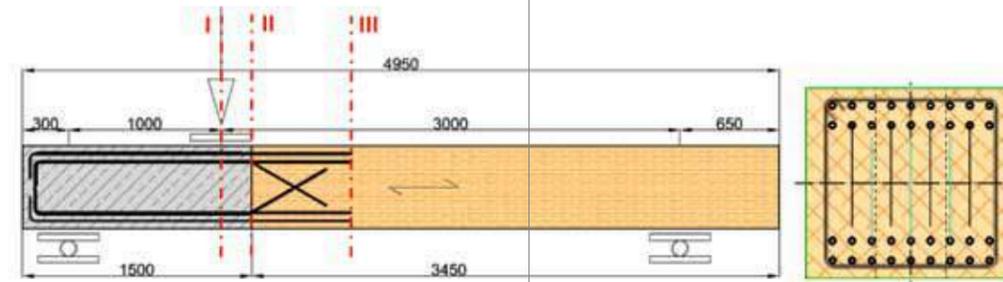
Bei dem Prüfkörper P2 wurden insgesamt 36 Betonstabstähle eingeklebt, 28 davon faserparallel und 8 unter einem Neigungswinkel von  $30^\circ$ . Es wurden durchweg Betonstabstähle B500B mit 16 mm Durchmesser verwendet, die Einkleblänge im Holz betrug einheitlich rd. 64 cm. Das Einkleben erfolgte mit dem allgemein bauaufsichtlich zugelassenen Zweikomponenten Epoxidharzklebstoff WEVO Spezialharz EP 32 S mit Härter B 22 TS (AbZ Z.9-1.705). Anschließend wurden an beiden Prüfkörpern die Betonteile in Ortbetonqualität C35/45 (CEM II-42,5 R, Konsistenzklasse F3, Größtkorn 16) hergestellt. Im Würfeldruckversuch wurde an Rückstellproben eine 28-Tage Betonfestigkeit  $f_{c,cube} = 60,9$  MPa ermittelt. Vor Durchführung der Biegeprüfungen wurden zur Aufnahme von Spaltzugkräften bei dem Prüfkörper P2 die Bereiche der eingeklebten Betonstabstähle mit Vollgewindeschrauben des Typs SWG Timtec (ETA-12/0197) querzugverstärkt.

Die Prüfkörper wurden so ausgelegt, dass anzunehmend im Bruchzustand die Fließgrenze der Stahlstäbe mit Sicherheit erreicht und die charakteristische Biegefestigkeit des Brettschichtholzes im Nettoquerschnitt nicht überschritten wird.

Die Versuchsdurchführung erfolgte in der Großversuchshalle der MPA Universität Stuttgart unter Verwendung von zwei parallel eingesetzten 1 MN Zylindern. Bild 3 zeigt eine Ansicht des realisierten Versuchsaufbaus mit dem Prüfkörper P2. Die insgesamt erreichte Höchstkraft betrug beim Prüfkörper P1 840 kN und beim Prüfkörper P2 1208 kN.



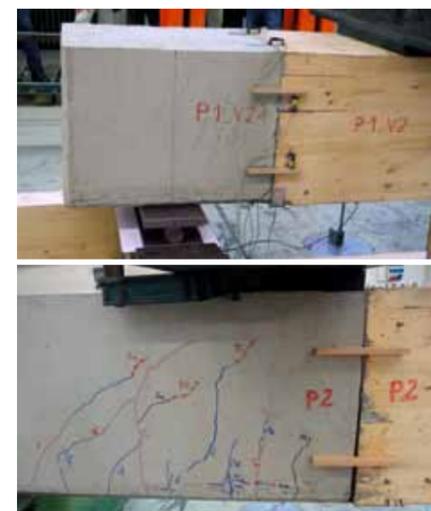
[1] Schematische Darstellung des Prüfkörpers P1 in Längs- und Querschnitt



[2] Schematische Darstellung des Prüfkörpers P2 in Längs- und Querschnitt



[3] Prüfkörper P2 im Prüfstand



[4a/b] Ansichten der Prüfkörper P1 und P2 im Bruchzustand

Die Bilder 4 a und b zeigen Ansichten des BSH-Stahlbeton-Stoßbereichs nach Erreichen der Tragfähigkeiten der Prüfkörper. Im Falle des primär betreffend Querkraftübertragung untersuchten Prüfkörpers P1 ist die im fortgeschrittenen Belastungszustand aufgetretene Querschrägsbildung speziell am oberen Trägerbereich des BSH-Verbundträgers deutlich sichtbar. Im Falle des Prüfkörpers P2, der im Hinblick auf Momenten- und Querkraftübertragung untersucht wurde, ist zum einen die Klaffung der Holz-Beton-Fuge im Biegezugbereich sowie die typische Rissbildung im Stahlbetonbereich zu sehen.

Beide Prüfkörper versagten mit extrem duktilem Verhalten durch Fließen der Betonstabstähle und bei dem Prüfkörper P1 in einem sehr hohen Lastbereich durch Aufspalten des Holzes. Alle Versuche wurden nach Überschreiten der Höchstlast auf dem abnehmenden Last-Verformungsast bei sehr großen Verformungen abgebrochen. Keiner der beiden Prüfkörper desintegrierte; beide Prüfkörper wiesen sehr hohe Resttragfähigkeiten auf. Die im Versuch erreichten maximalen Schnittgrößen sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Tabelle 2 beinhaltet die hieraus ermittelten Spannungen im Bruchzustand.

Den hier angegebenen Spannungen liegt eine stark vereinfachende Modellannahme zugrunde, bei der das Biegemoment ausschließlich von den faserparallel angeordneten Stangen übertragen wird und die Querkraft ausschließlich von den diagonal angeordneten Stangen. Dieser Ansatz liegt extrem auf der sicheren Seite, da hierbei der im elastischen Bereich dominierende Querkraft-Einhängeeffekt in die als Schubnocken anzusehenden Stahlstäbe gänzlich unberücksichtigt bleibt. Als Grenzwerte für die Ausnutzungen der jeweiligen Materialien Stahl, Klebstoffugen und Biegefestigkeit des Brettschichtholzes wurden die nachfolgend aufgeführten charakteristischen Werte zugrunde gelegt.

- Betonstabstahl B500B:  $f_{y,k} = 500$  N/mm<sup>2</sup>,
- Klebfugenfestigkeit:  $f_{k1,k} = 3,5 - 0,0015 \cdot l_{ad} = 2,54$  N/mm<sup>2</sup>, mit  $l_{ad} = 640$  mm,
- Brettschichtholz, Festigkeitsklasse GL 24h:  $f_{m,k} = 24$  N/mm<sup>2</sup>,

Wie aus Tabelle 2 ersichtlich, liegen die im Traglastzustand erreichten Stahl- und Klebefugenspannungen im Falle des Prüfkörpers P1 um den Faktor 1,2 bis 1,5 über den normativ ansetzbaren charakteristischen Werten. Im Falle des Prüfkörpers P2 liegen die Unterschiede im Bereich des 1,5–1,8fachen. Die charakteristischen Biegefestigkeitswerte des Brettschichtholzes werden in beiden Fällen nicht völlig, aber hoch ausgenutzt. Die Festigkeitsüberschreitungen im Falle des Prüfkörpers P1 wären mit Bezug auf Mittelwerte der jeweiligen Festigkeiten soeben noch plausibel. Im Falle des Prüfkörpers P2 zeigt sich jedoch, dass die im Berechnungsmodell nicht zur Abtragung der Lasten aus der Momentenbeanspruchung angesetzten diagonal angeordneten Stangen jedoch erheblich an der Momentenübertragung beteiligt sind.

### Fazit

Im Rahmen der vorstehenden knappen Diskussion der Validierung der Leistungsfähigkeit eines kraftschlüssigen BSH-Stahlbeton-Anschlusses bleibt festzuhalten, dass bei geeigneter Wahl der Bewehrungsanordnung sowohl die Leistungsfähigkeiten des Brettschichtholzes wie des Stahlbetonbauteils weitgehend gleichwertig hoch ausgenutzt werden können.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt der Voruntersuchungen betrifft die Feststellung, dass sich im Zeitraum (7 Wochen) zwischen der Herstellung der BSH-Stahlbeton-Bauteile keine Rissbildungen beobachten ließen.

Prüfkörper	Bruchlast $P_{max}$	Maximale Schnittgrößen					
		im Betonbereich Schnitt I		am Holz-Beton-Übergang Schnitt II		im Holzträger Schnitt III	
		$V_{max}$ [kN]	$M_{max}$ [kNm]	$V_{max}$ [kN]	$M_{max}$ [kNm]	$V_{max}$ [kN]	$M_{max}$ [kNm]
P1	840 kN	-	-	630	220	210	588
P2	1208 kN	909	866	302	850	302	654

Tabelle 1: Schnittgrößen der Prüfkörper P1 und P2 im Traglastzustand in ausgewählten Schnitten (vgl. Bilder 1 und 2)

Prüfkörper	Spannungen und Ausnutzungen im Bruchzustand					
	Stahlspannungen Schnitt I		Klebfugenspannungen Schnitt II		Holzspannungen Schnitt III	
	$\sigma_{S,u}$	$\sigma_{S,u} / f_{y,k}$	$\tau_{Fuge,u}$	$\tau_{Fuge,u} / f_{k1,k}$	$\sigma_{My,u}$	$\sigma_{My,u} / f_{m,BSHk}$
P1	622	1,24	3,9	1,53	20,5	0,85
P2	734	1,47	4,6	1,8	23,1	0,96

Tabelle 2: maximale Spannungen sowie Ausnutzungsgrade der Prüfkörper P1 und P2 im Bruchzustand

# Statik und Konstruktion

## Kraftflussgerechte Form

Die Form des Überbaus folgt dem Momentendiagramm des Brückenträgers unter Gleichlast: Der Querschnitt reduziert sich von den Aufweitungen am Anschlusspunkt zum Widerlager mit hohem Einspannmoment auf ein Minimum am Momentennullpunkt und weitet sich in der Feldmitte im Bereich des maximalen Feldmoments wieder auf.

## Integrales Rahmentragwerk

Die Stuttgarter Holzbrücke ist eine integrale, also lager- und fugenlose Brücke: Dies bedeutet, dass der Überbau, der blockverleimte Massivholzträger, monolithisch mit dem Unterbau, dem Stahlbetonwiderlager, verbunden ist. Somit liegt das Brückentragwerk nicht wie bei einem konventionellen Brückentragssystem auf einem festen und einem längsverschieblichen Lager auf, welches Längsausdehnungen zulässt, sondern ist über fest gekoppelte Stöße zwischen Holz und Stahlbeton zu einem Ganzen (integral) verbunden. Beim so gefügten Tragwerk interagieren Überbau, Unterbau und Baugrund miteinander. Bodeneigenschaften und Bauwerksverhalten müssen daher genau erfasst und der Einfluss auf sensitive Bauwerkskomponenten identifiziert werden. Alle aus der Boden-Bauwerk-Interaktion resultierenden Kräfte werden in den statischen Berechnungen iterativ berücksichtigt.

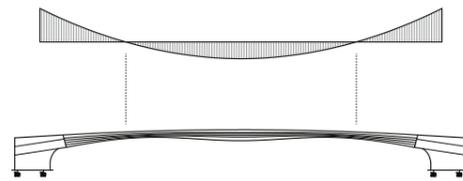
## Statische Berechnung

Die Brückenkonstruktionen überspannen die Flüsse Rems und Urbach mit Gesamtlängen von 38,2 m und 16,6 m. Die lichte Öffnung der Spannweiten beträgt 32,2 m und 13,6 m. Die begehbare lichte Brückenbreite beträgt im Regelfall 3,0 m und weitet sich bei der Brücke Weinstadt-»Birkelspitze« auf 3,5 m in Brückenmitte auf.

Die Brücken sind als durchgehende Rahmentragwerke modelliert. Die Geometrien des Widerlager- und Brückenträgerquerschnitts sind segmentweise abgestuft entsprechend der Trägerform im Modell abgebildet. Die Volumenelemente sind dabei mit dem Elastizitätsmodul von Holz und einer abgeschätzten Steifigkeit für einen Stahlbetonquerschnitt im Zustand II (ohne Mitwirkung des Betons auf Zug) für das Widerlager belegt. Die Bodenkennwerte sind mit Federelementen am Fußpunkt der Widerlager berücksichtigt, dabei wurden maximale und minimale Grenzwertwerte der Steifigkeitsannahmen zur Bestimmung der Boden-Bauwerk-Interaktion untersucht.

Die aus dem integralen Brückensystem resultierenden Zwangsschnittkräfte sind vergleichsweise gering: abgesehen von den aus den Baugrundverhältnissen resultierenden Einflüssen auf das Bauwerk ergeben sich aus Feuchteänderung oder Temperaturdifferenzen nur geringe Beanspruchungen (der Temperaturausdehnungskoeffizient von Holz ist weniger als halb so groß verglichen mit Beton oder Stahl).

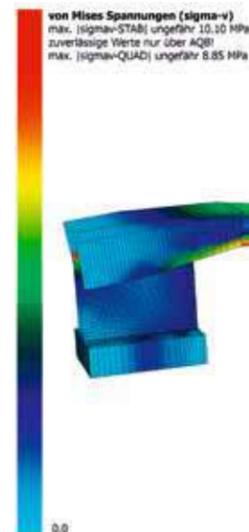
Das dynamische Verhalten wurde analysiert, die Eigenfrequenzen stellen sich innerhalb des durch Fußgängerverkehr anregbaren Frequenzbereichs ein. Aufgrund der hohen Systemdämpfung durch das eingesetzte Material und der verklebten Verbindungen sind keine Resonanzeffekte am fertiggestellten Bauwerk feststellbar.



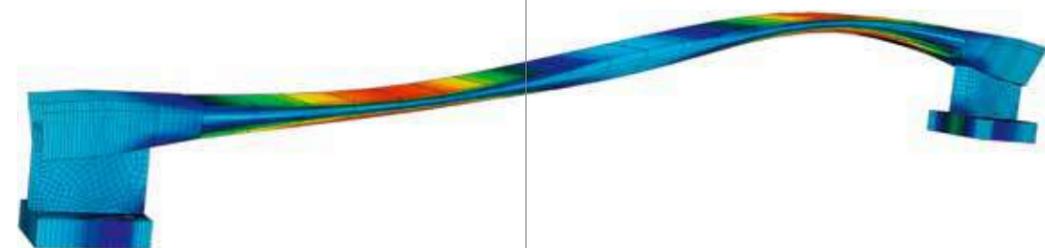
Biegemomentenverlauf eines beidseitig eingespannten Einfeldträgers unter Gleichlast (oben)  
Am Biegemomentenverlauf ausgerichtete Trägerform (unten)



[1] Statisches System: die geometrische Form ist exakt erfasst, über die Federlemente am Widerlagerfuß werden die Bodenkennwerte berücksichtigt



[2] Spannungen unter Gleichlast (Eigenlast und volle Verkehrslast)



[3] Eigenform (2,1 Hz)  
Die rechnerisch ermittelte Eigenfrequenz liegt im Bereich durch Personen anregbarer Schwingungen. Das hohe Dämpfungspotential von Material, Verbindungen und Bodeneinbettung verhindert jedoch ein resonantes Schwingverhalten. An den fertiggestellten Brücken wurden keine fußgängerinduzierten Schwingungseffekte festgestellt.

Die Tragwerke sind für Fußgänger- und Fahrradverkehr bemessen. Zusätzlich wurden Lasten für ein die Brücke befahrendes Dienstfahrzeug sowie Wind- und Temperaturlasten berücksichtigt. Auch die Einwirkungen aus durch Feuchtewechsel bedingtem Quellen und Schwinden des Holzträgers, Setzungsdifferenzen des Baugrundes und Auftrieb im Hochwasserlastfall wurden untersucht. Die Bemessung der eingeklebten Gewindestangen im Brett-schichtholz basiert auf der Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-9.1-791 (2016), die Anwendungsbereiche und Bemessungsvorschriften regelt.

## Konstruktive Ausbildung

Die blockverleimten Brett-schichtholzträger mit maximalen Querschnittsabmessungen von 2,60 m Breite und Höhen von bis zu 110 cm bestehen aus jeweils 20 cm breiten Brett-schichtholzsegmenten der Festigkeitsklassen GL28c und GL24h. Die Einzellagen sind über die Seitenflächen blockverleimt. Der Querschnitt ist so konzipiert, dass die rückspringenden BSH-Lagen in einem Winkel kleiner als 60 Grad von unten nach oben abgetrepppt sind. So kann von einem ausreichenden Schutz vor Schlagregen ausgegangen werden.

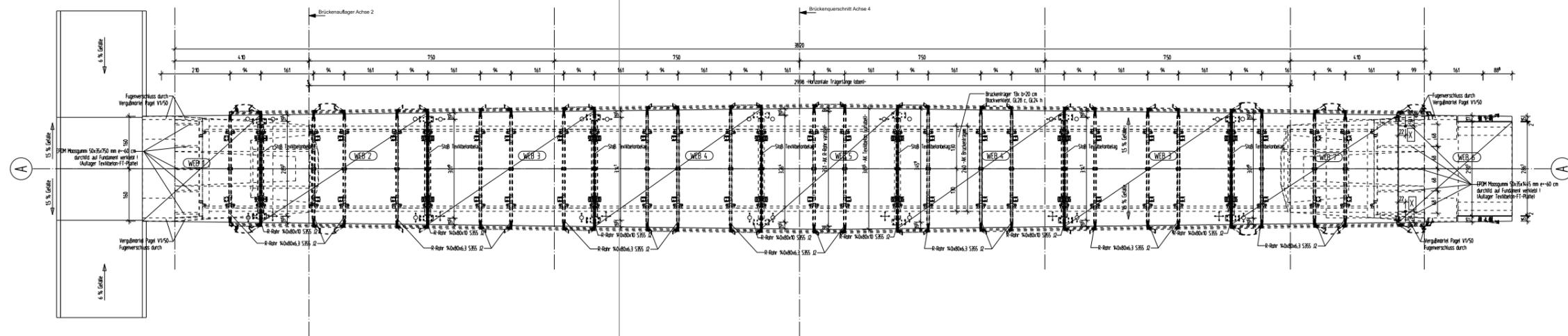
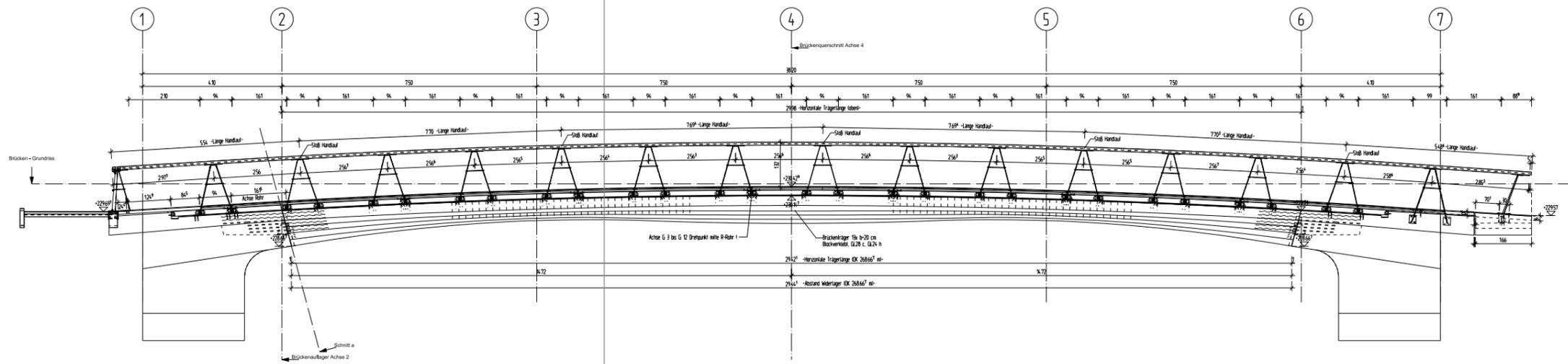
In Bereichen erhöhter Querkraftbeanspruchung, wie nahe dem Anschluss zum Widerlager, sind Vollgewindeschrauben zur Aufnahme der Querkzugspannungen eingedreht.

Das Konzept des neuartigen Stoßes zwischen Über- und Unterbau ist auf die anisotropen Materialeigenschaften des Faserwerkstoffs Holz ausgelegt: die Anschlusskräfte des Einspannmoments und alle Längskräfte werden in Richtung der Holzfasern übertragen. Die faserparallele und so materialgerechte Krafteinleitung nutzt, ähnlich wie der Baum, die »starke Richtung« des anisotropen Werkstoffs Holz; schließlich kann das Fichtenholz der hier verwendeten Sortierklasse in Faserrichtung fast 23 mal höhere Zugkräfte tragen als quer zur Faser. Bei Druckkräften ist das Verhältnis der Tragfähigkeit längs zu quer immer noch 9 : 1.

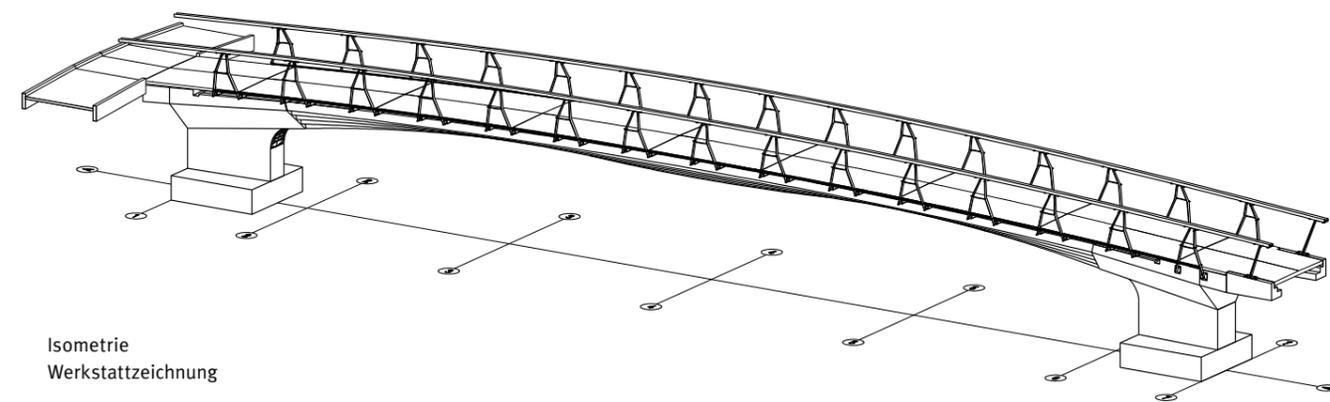
Die Übertragung der Biegezug- und Normalkräfte im Stoß erfolgt durch bis zu 156 faserparallel in die Stirnflächen eingeklebten Gewindestangen, die 120 cm tief im massiven Holzkörper verankert sind. Die Druckkraftkomponente resultierend aus dem Einspannmoment wird über einen Kontaktanschluss mit ausreichend statisch zur Verfügung gestellter Fläche im unteren Bereich des Holzträgers übertragen. Die Fuge zwischen Holz und Beton wird nach dem Einheben des Holzträgers und dem Verguss der Betonstahlstäbe im Widerlager kraftschlüssig mit Hilfe von druckstabilem Vergussmörtel geschlossen. Außerdem ist eine Stahlkonsole, die mit Hilfe von schräg eingedrehten Vollgewindeschrauben (d = 8 mm, Länge bis 28 cm) stirnseitig im Holzträger befestigt wird, Bestandteil des Widerlagerstoßes. Mit ihrer Hilfe werden die vertikalen Querkkräfte aus dem Brückenüberbau in das Stahlbetonwiderlager eingetragen. Zudem dient sie als Montagehilfe für den stützenfreien Einhub des Brückenüberbaus, der mit Hilfe der Stahlkonsolen auf die bauseitigen Widerlager abgelegt werden kann.

Die Widerlager in Ort-betonbauweise C35/45 bestehen aus einem oberen Kopfbereich, welcher über eine Wandscheibe mit der Fundamentplatte verbunden ist. Die Gründung erfolgte dann für die kleinere Brücke als Flachgründung direkt über die Fundamentplatte, während für die beiden großen Brücken aufgrund des vorhandenen Baugrunds eine Tiefgründung mit verpressten Kleinbohrpfählen ausgeführt wurde.

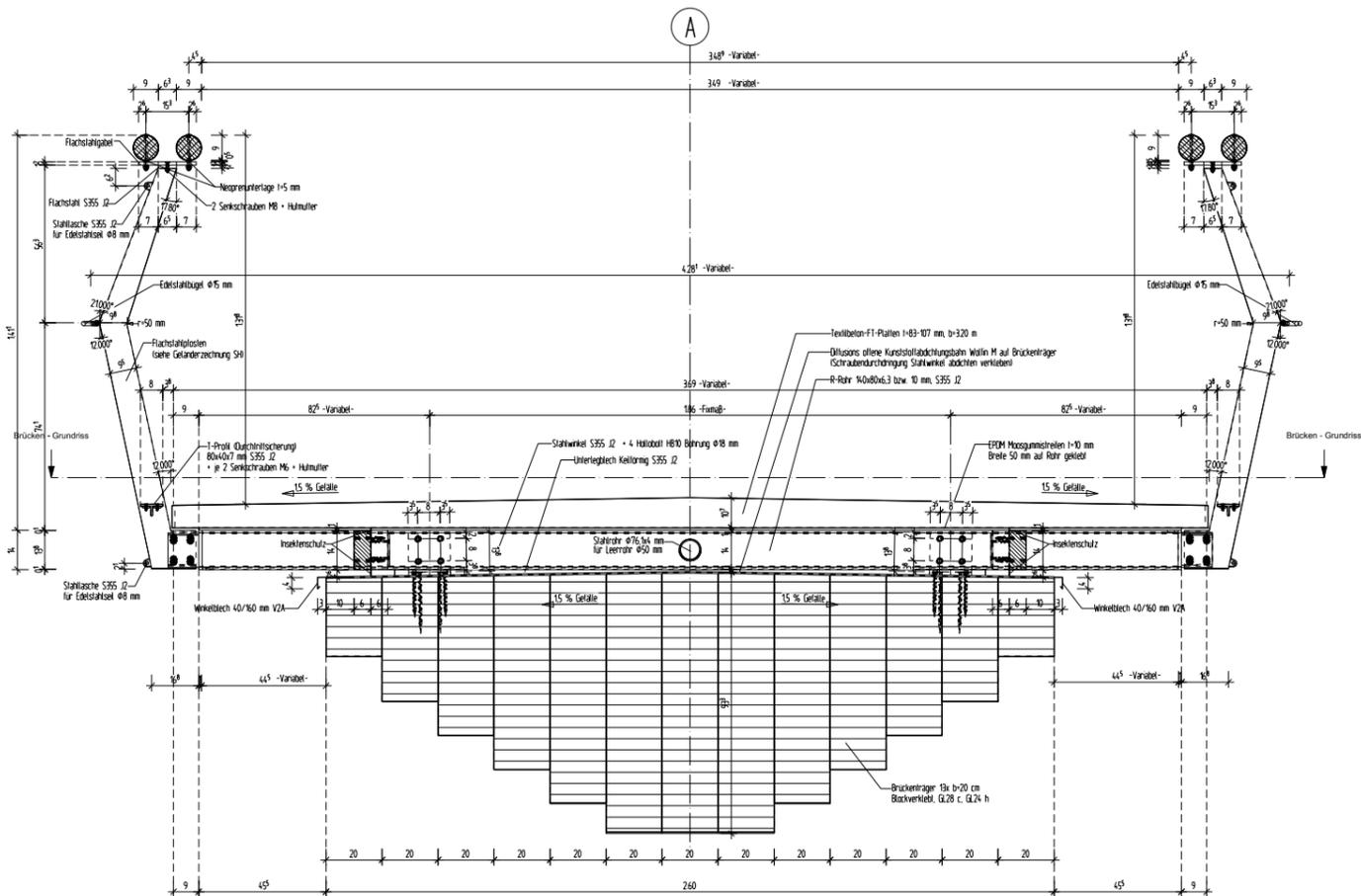
Werkstattzeichnungen  
 Die Werkstattzeichnungen, erstellt von Schaffitzel Holzindustrie basieren auf einem räumlichen Gesamtmodell von Brückenüberbau und -unterbau, in dem alle Aufbauten und auch die für den Geländeanschluss wichtigen Daten integriert sind.



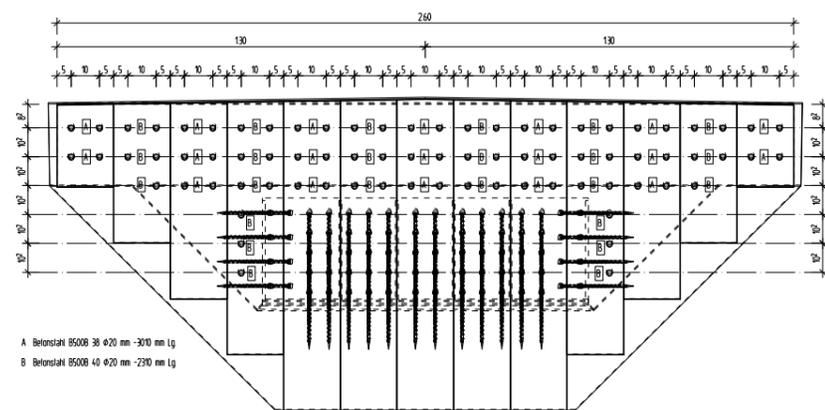
Werkstattzeichnungen  
 M 1:150



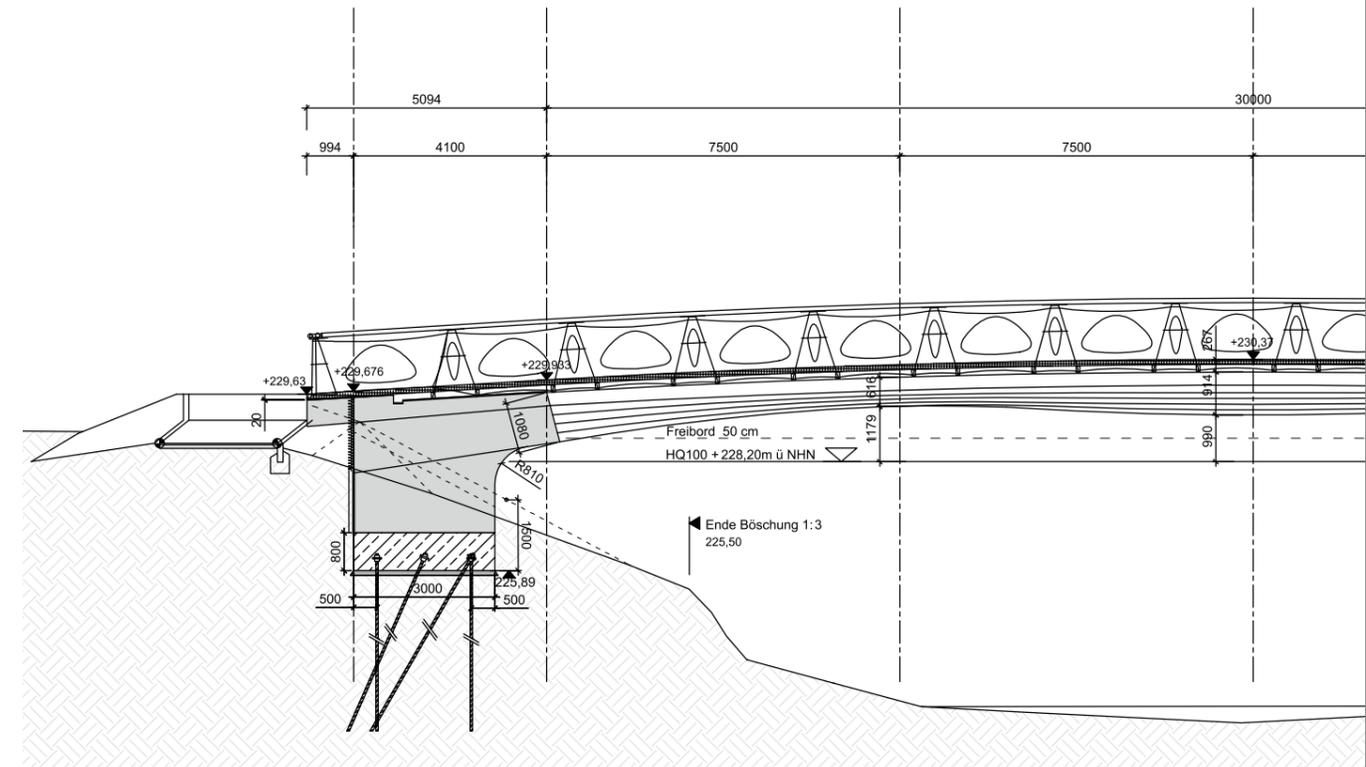
Isometrie  
 Werkstattzeichnung



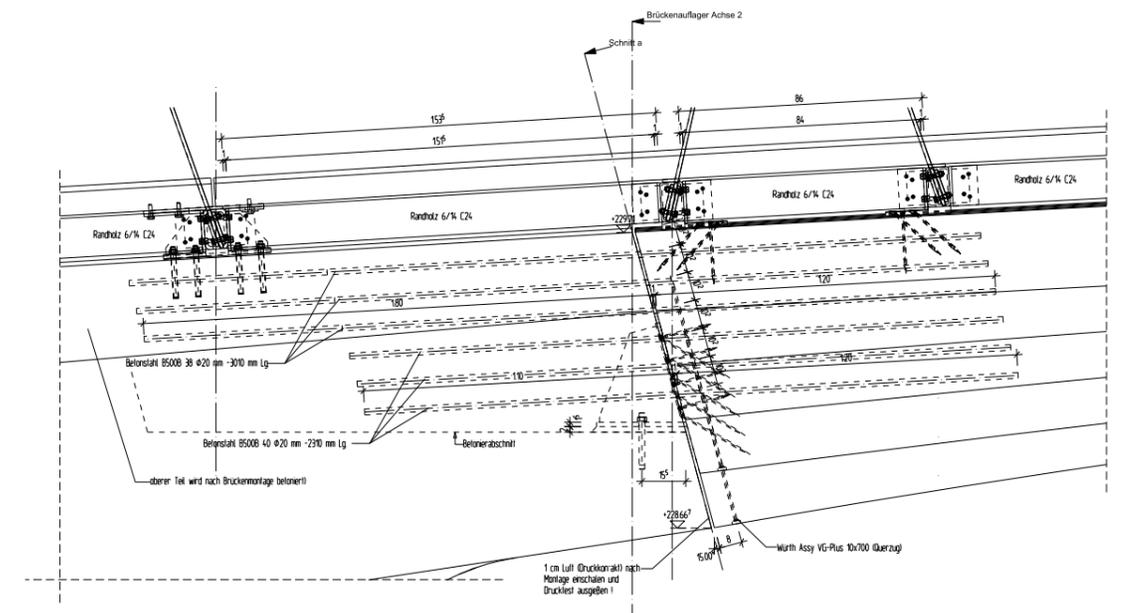
Schnitt Brückenmitte  
Werkstattzeichnung  
M 1:25



Schnitt / Ansicht Brückenanschluss  
Werkstattzeichnung  
M 1:25



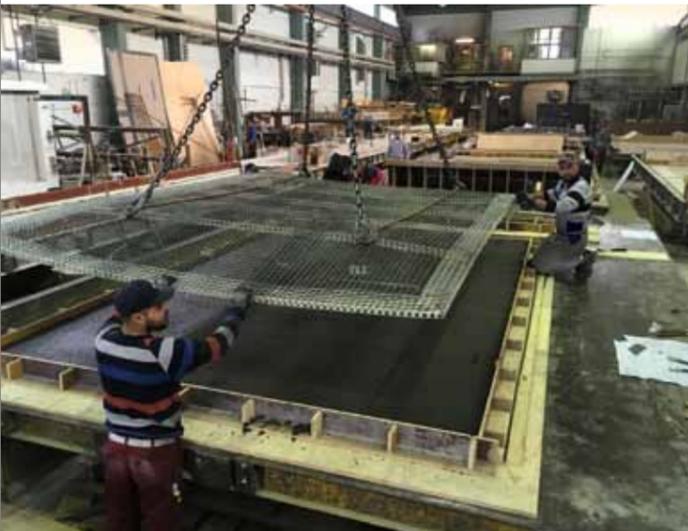
Schnitt Brücke Weinstadt »Birkelspitze«  
Ausführungszeichnung  
Die Höhenlage der Kontaktfuge Beton-Holz  
ist auf den anzunehmenden Höchst-  
wasserstand und einen 50 cm darüber  
anzusetzenden Freibord abgestimmt.  
M 1:150



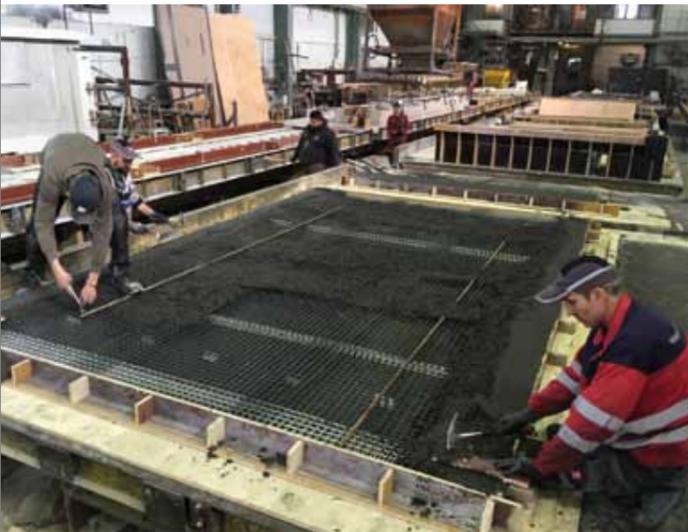
Schnitt Brückenanschluss  
Werkstattzeichnung  
M 1:25



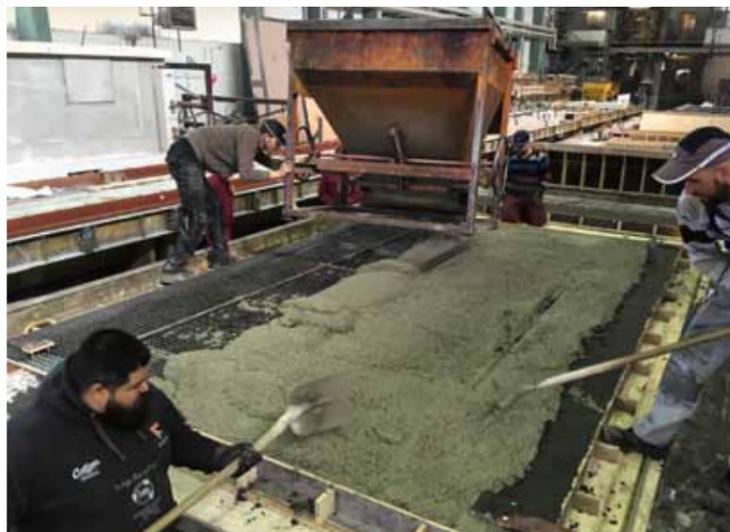
[1]



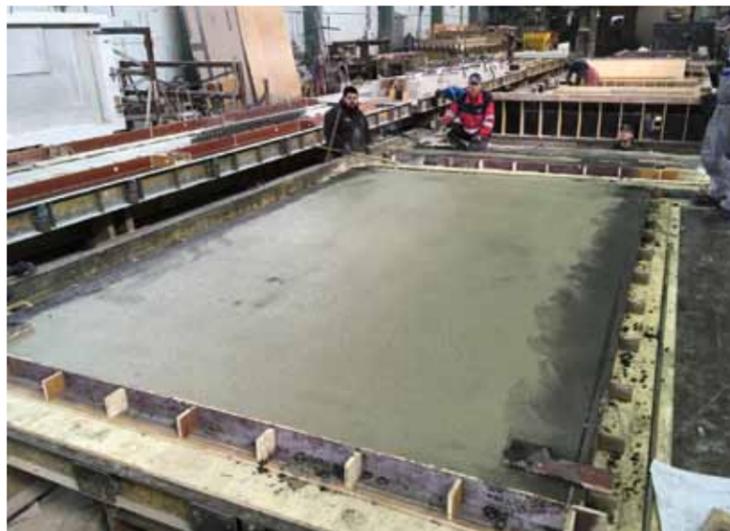
[2]



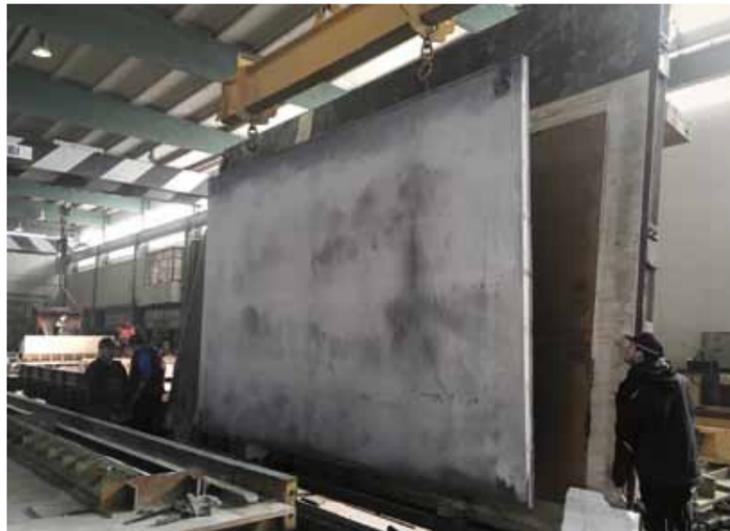
[3]



[4]



[5]



[6]

[1] Einfüllen der ersten Feinkornbetonschicht in die Fertigteilerschale

[2] Einlegen des räumlichen Geleges aus Carbonfasern und Glasfasern (Rand)

[3] Einrütteln des Geleges und Positionierung auf Abstandhaltern

[4] Einbringen der zweiten Feinkornbetonschicht

[5] Nivellieren und Glätten der Frischbetonoberfläche

[6] Ausschalen und Verladen der Fertigteilplatte nach 7 Tagen Aushärtezeit

[7] Entladen und Zwischenlagern der Fertigteilplatten

[8] Arbeitsprobe: Verstemmen der Zwischenfugen mit Bleiwolle

[9-10] Montage

## Fertigungstechnik Carbonbeton

Da das textile Fasergelege aus Carbon im Gegensatz zu einer Stahlbewehrung nicht korrosionsgefährdet ist, kann die Betonüberdeckung auf ein konstruktives Mindestmaß von 10 mm reduziert werden. So ist eine minimale Plattendicke von nur 80 mm möglich. Mit dem notwendigen Betonvolumen sinkt auch der Bedarf an Zement. Die energieintensive Zementproduktion trägt circa 6–8% zu den globalen Treibhausgasemissionen bei. Durch den Einsatz des neuen Werkstoffs Carbonbeton kann die erforderliche Zementmenge um bis zu 50% gegenüber stahlbewehrten Bauteilen reduziert werden.

Die circa 5 x 3 m großen Fertigteilplatten werden im Werk (Hering Bau GmbH) auf einem Fertigungstisch mit variabler Randschalung vorgefertigt. Auf einer ersten eingebrachten Lage Feinkornbeton werden zwei Lagen epoxidharzgetränktes Carbongitter (Hersteller: Solidian) eingesetzt und in der Lage fixiert. Die zweite Lage Feinkornbeton wird eben abgezogen. Der Feinkornbeton ist selbstverdichtend und benötigt keine weitere Nachbehandlung. Nach sieben Tagen wird die Platte ausgeschalt und zum Transport verladen.

Die sehr gute Rutschsicherheit wird durch Sandstrahlen der Oberfläche erzeugt. Weitere Beschichtungen sind nicht notwendig. Die Belagsplatten fungieren aufgrund ihrer hohen Dichtigkeit auch als erste Abdichtungsebene der Brücke.



[7]



[9]



[8]



[10]



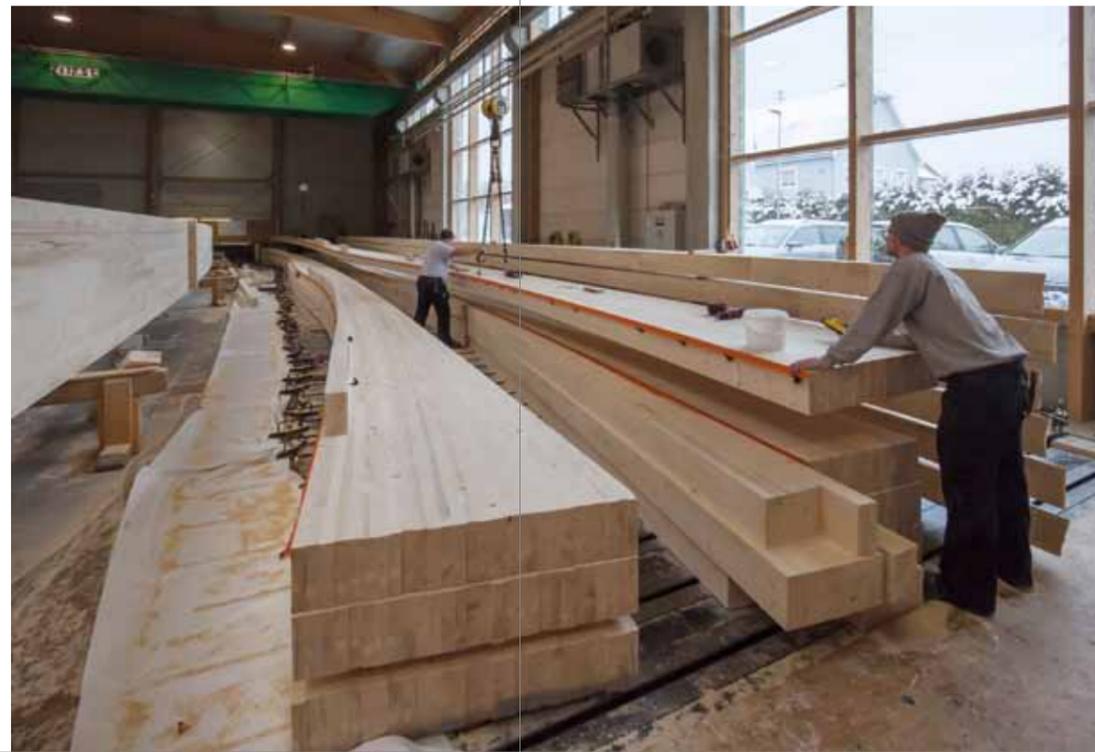
[1]



[2]



[3]



[4]



[5]

## Fertigung und Montage

Am 5. April 2019 wurde die letzte der insgesamt drei Remstalbrücken mit einer Länge von rund 30 m in Urbach montiert. Mit einem Autokran wurde der rund 29 Tonnen schwere Holzbrückenkörper eingehoben. Das Brückentragwerk überspannt den Urbach als einfeldrige Brücke mit einer Gesamtlänge von circa 38 m einschließlich der Widerlager. Die in Brückenachse gemessene Stützweite des Holzträgers beträgt circa 30 m von Widerlager zu Widerlager. Der Überbau besteht aus insgesamt 13 je 20 cm breiten Brettschichtholzlagen, die zu einem 2,60 m breiten und in der Mitte maximal 1,26 m hohen blockverklebten Massivholzträger gefügt werden.

Im Werk des Holzbaunternehmens wurden vorab in jede Hirnholzfläche jeweils 78 Betonrippenstähle mit einem Durchmesser von 20 mm und Längen von 2,30 bzw. 3,00 m in faserparallele Bohrungen im Brettschichtholzträger verpresst – die Einklebelänge im Holz beträgt dabei 1,20 m. Die Betonrippenstähle wurden in die Bewehrung der Widerlager der Brücke eingebunden und einbetoniert. Um einen reibungslosen Einbau zu garantieren, musste der Brückenkörper auf den Zentimeter genau und im passenden Winkel abgebunden werden. Die Stirnseiten des Blockträgers wurden mit einer speziellen Hirnholzversiegelung zur dauerhaften Unterbindung des Feuchtetransportes über die Hirnholzflächen in den Träger geschützt. Insgesamt sind rund 45 Kubikmeter Brettschichtholz und 7 Tonnen Stahl in der Brücke verbaut. Im massiven Holzkörper der Brücke sind rund 36,5 Tonnen Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) gebunden.

[1-2]

Verleimen der unterschiedlich gekrümmten Binderlagen aus keilverzinkten Brettlamellen

[3]

Positionieren der Binderlagen

[4-5]

Verleimen der Binderlagen zum Block

### Integriertes Feuchtemonitoring

Um die Dauerhaftigkeit der Brückenkonstruktion sicher zu stellen, wurde ein Messsystem zur ständigen Überwachung der Holzfeuchte (Feuchtemonitoring) installiert.

Hierzu sind Messpunkte im Bereich des Stoßes zwischen Holzüberbau und Stahlbetonwiderlager innerhalb der Fuge bzw. unter der aufgelegten Abdichtungsebene eingebaut. Um den Feuchtegehalt zu messen, wurden von der MPA Stuttgart Elektroden im Holzbrückenkörper installiert. Außerdem sind in der

direkten Umgebung der Elektroden Sensoren zur Messung der Temperatur installiert worden. Im Stoßbereich wurden hierfür jeweils acht Feuchtemess-Elektroden und acht Temperatursensoren je Stoß vorgesehen. In der Nähe der Messpunkte sind zusätzliche Sensoren zur Untersuchung der lokalen Klimabedingungen (Luftfeuchte/Außentemperatur) eingefügt. Die eingebaute Messtechnik ermöglicht mit einfachen Mitteln eine regelmäßige Kontrolle des Holzfeuchteverlaufs im Holzbrückenquerschnitt.



[6]



[7]

[6-8]  
Die blockverleimten Brettschichtholzbinde sind bis zu 30 m lang, 2,60 m breit und 1,10 m hoch. Die Bearbeitung der Stirnflächen und des Dachprofils werden in einem abschließenden Arbeitsgang am vollständig verleimten Trägerblock durchgeführt.

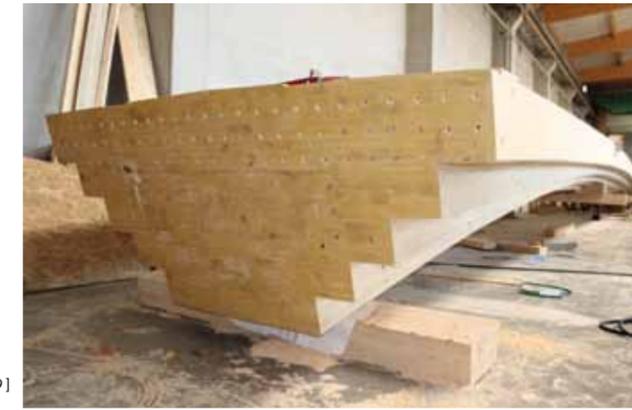
[9-10]  
In faserparallel angeordnete Bohrungen an den Stirnflächen werden je 78 Gewindestangen bis zu 120 cm tief in den Holzkörper eingeleimt.

[11]  
Der Feuchteschutz des Brückenkörpers, bestehend aus Vliesschicht und Folienlage, wird aufgebracht. Die Trägerlage der Belagebene und der Geländerkonstruktion ist vormontiert.

[12]  
Der vorgefertigte Brückenkörper wird verladen und an die Baustelle geliefert.



[8]



[9]



[10]



[11]



[12]



Montage am Standort  
Weinstadt »Birkelspitze«

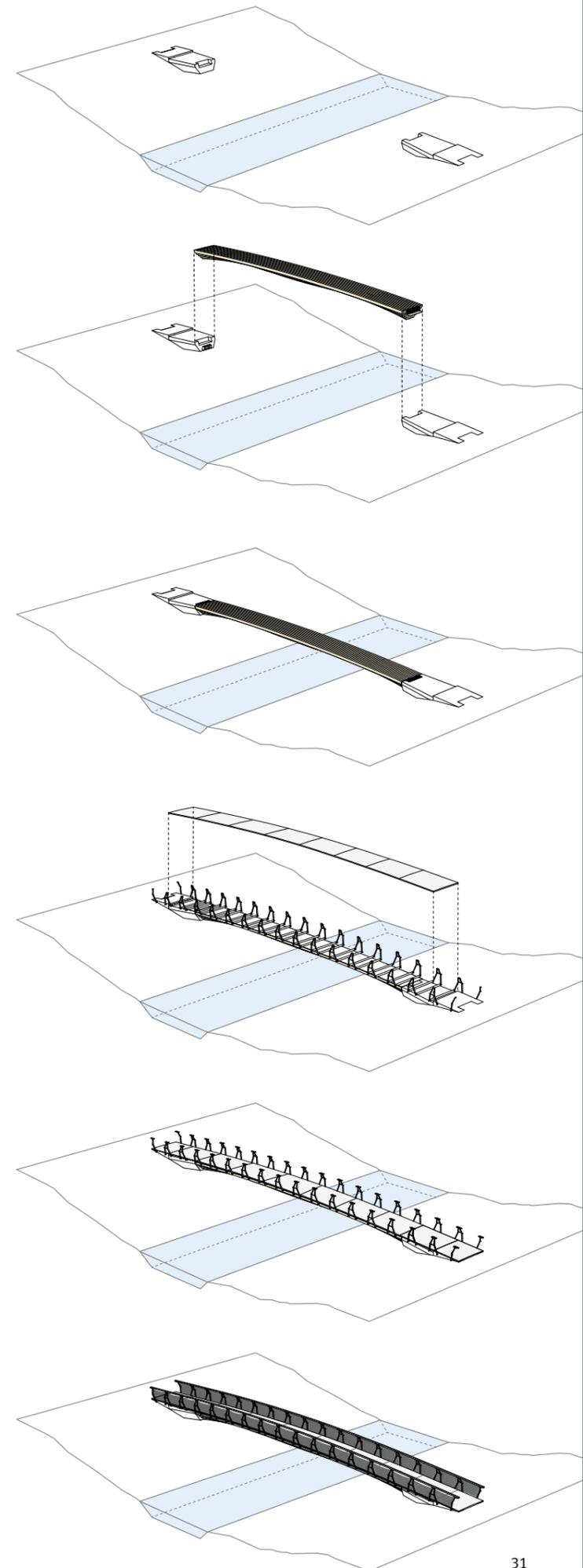
### Montageschritte

Die Widerlager aus Ortbeton sind fertiggestellt und die Anschlussbewehrung vorgefertigt. Der blockverleimte Überbau wird im Holzbaubetrieb unter geschützten Bedingungen als hochpräzises und die Maße aus dem örtlichen Aufmaß berücksichtigendes Bauteil vorgefertigt

Der oberseitig abgedichtete Überbau wird als ein Stück eingehoben. Gerüste oder sonstige Vorrichtungen sind nicht erforderlich. Die bei Gewässern ökologisch sensiblen Randbereiche bleiben weitgehend intakt.

Nach dem Einhub erfolgt die Montage der Geländer und des Gehbelags.

Die drei Brücken im Remstal waren bereits werkseitig mit der montierten und eingedichteten Grundkonstruktion aus Rechteckholzprofilen versehen.



## Montage am Standort Weinstadt »Birkelspitze«

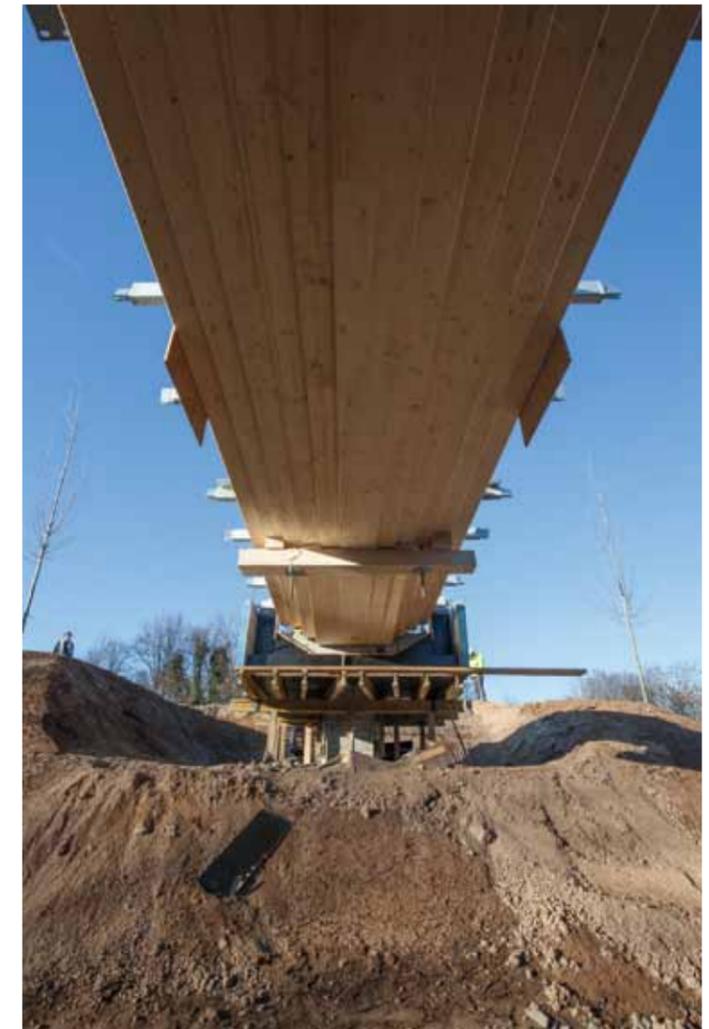
Der blockverleimte und oberseitig abgedichtete Überbau gelangte als Sondertransport an die Baustelle und wurde durch einen Schwerlastkran eingehoben. Der gesamte Montageprozess dauerte etwa eine Stunde.



Montage am Standort Weinstadt »Häckermühle«



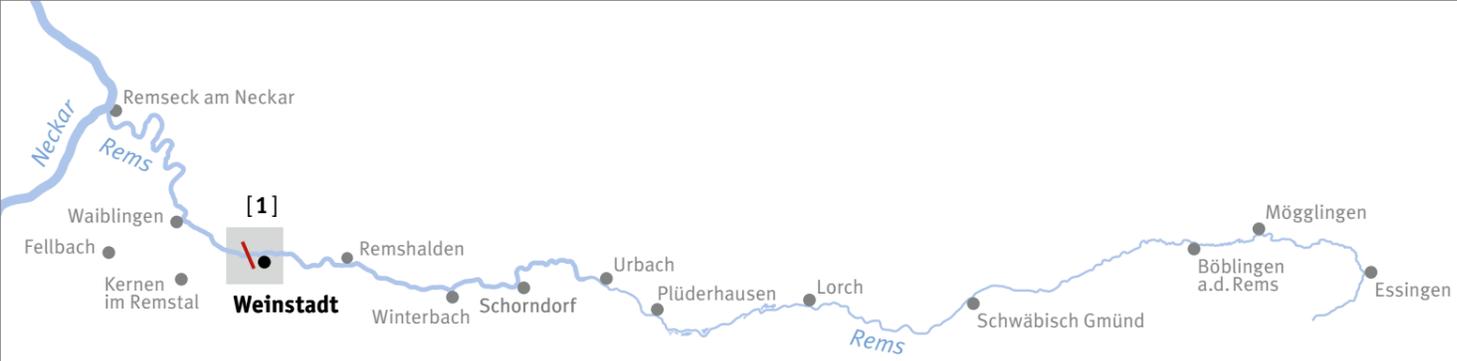
Die Brücke in Weinstadt besitzt die kürzeste Spannweite der drei neuen Bauwerke im Remstal. Der Überbau wurde hier als flaches Bogentragwerk ausgebildet.



## Montage am Standort Urbach

Im Unterschied zu den landschaftsplanerisch weitgehend neu gestalteten Standorten in Weinstadt ließ sich die Brücke über den Urbach ohne Beeinträchtigung der vorhandenen Gehölze in das ökologisch intakte Umfeld einheben.

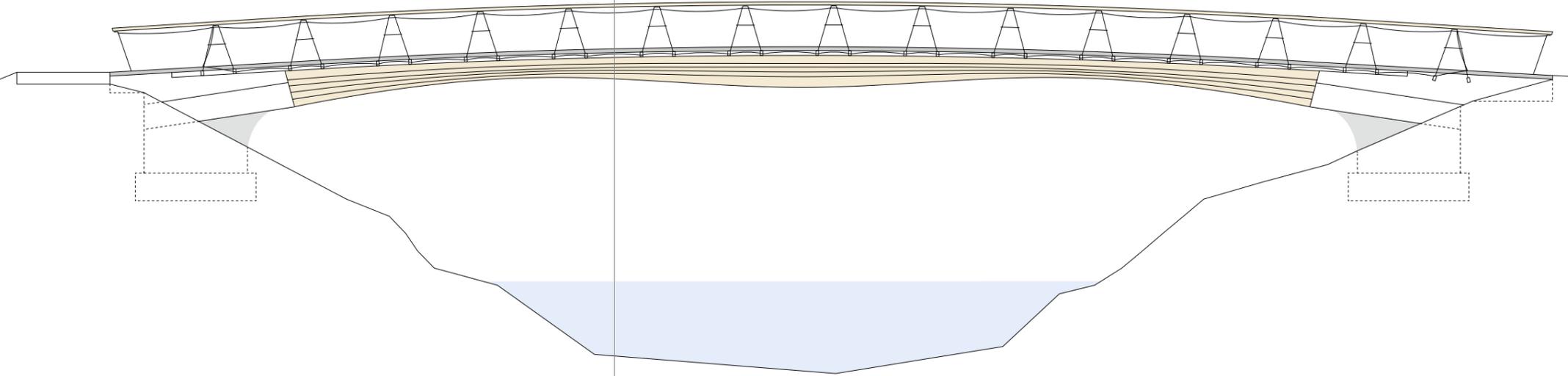




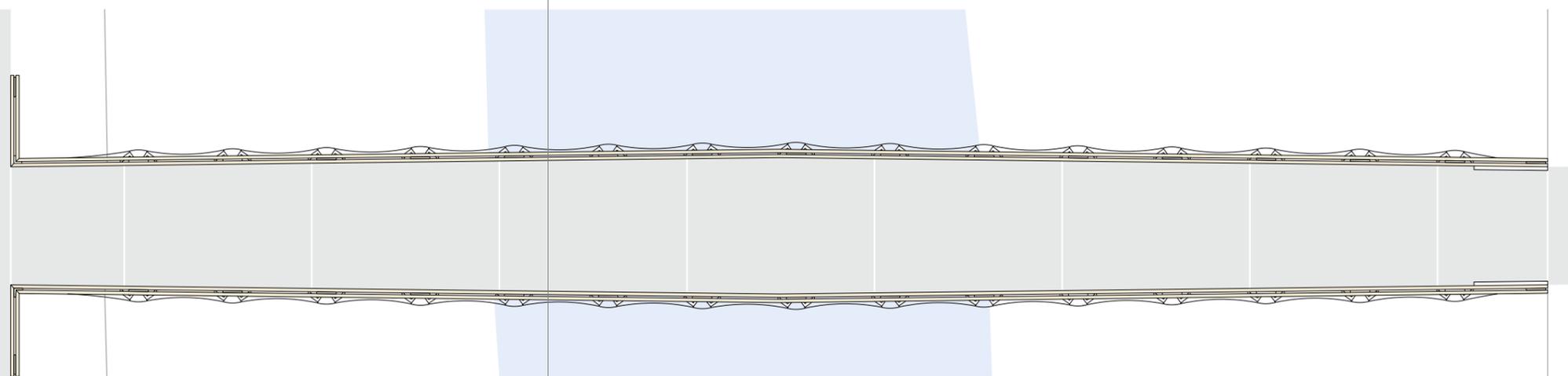
Die neue Fuß- und Radwegbrücke verbindet den nördlich der Rems gelegenen Ortsteil »Trappeler« mit den anderen Teilgemeinden Weinstadts. Darüber hinaus ergänzt die Brücke das Fuß- und Radwegenetz entlang der Rems, einem Naherholungsgebiet im Großraum Stuttgart.

Die Bezeichnung »Birkelspitze« beschreibt zum einen die geographische Situation: aus der Einmündung des Haldenbachs in die Rems entstand hier eine spitzwinklige Landzunge. Zum anderen befand sich hier das Werksgelände der Firma Birkel, eine ehemals über die Grenzen Baden-Württembergs hinaus bekannte Nudelfabrik.

Im Zuge der Landesgartenschau 2019 gelang es, das bis dato kaum zugängliche Areal durch eine umfassende Freiraumplanung zu einem attraktiven Landschaftsraum mit hohem Freizeitwert neu zu gestalten.

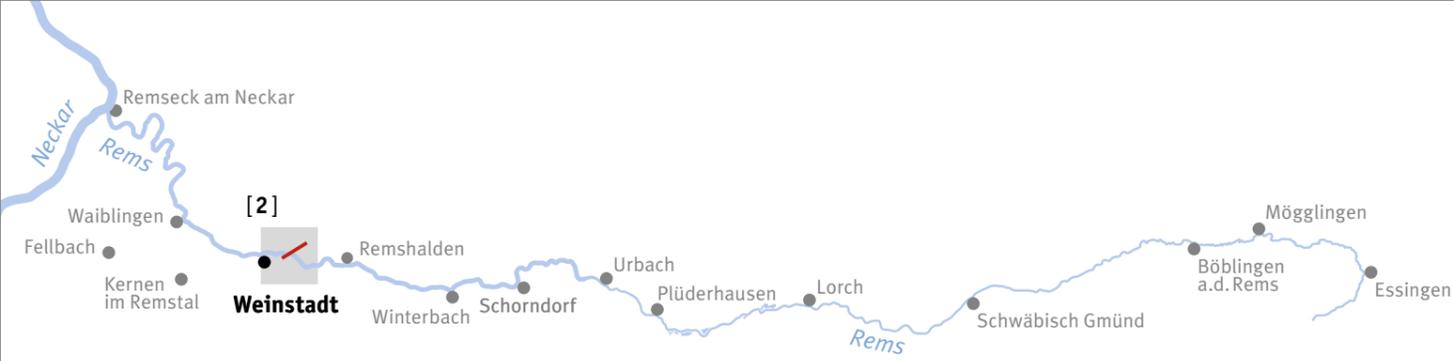


Längsansicht/Grundriss  
M 1:150

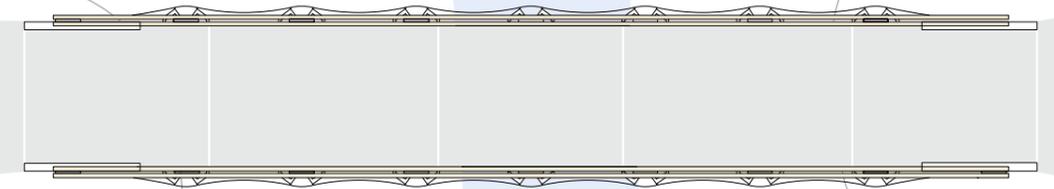
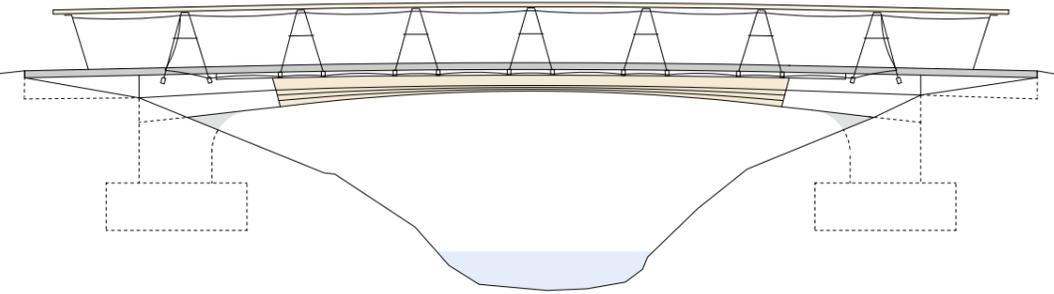




# Weinstadt »Häckermühle«



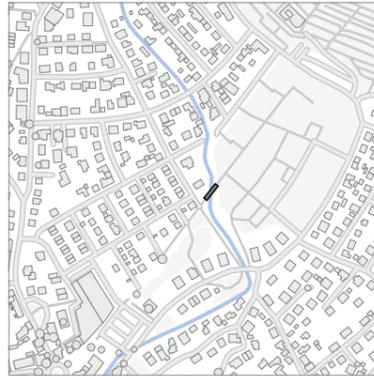
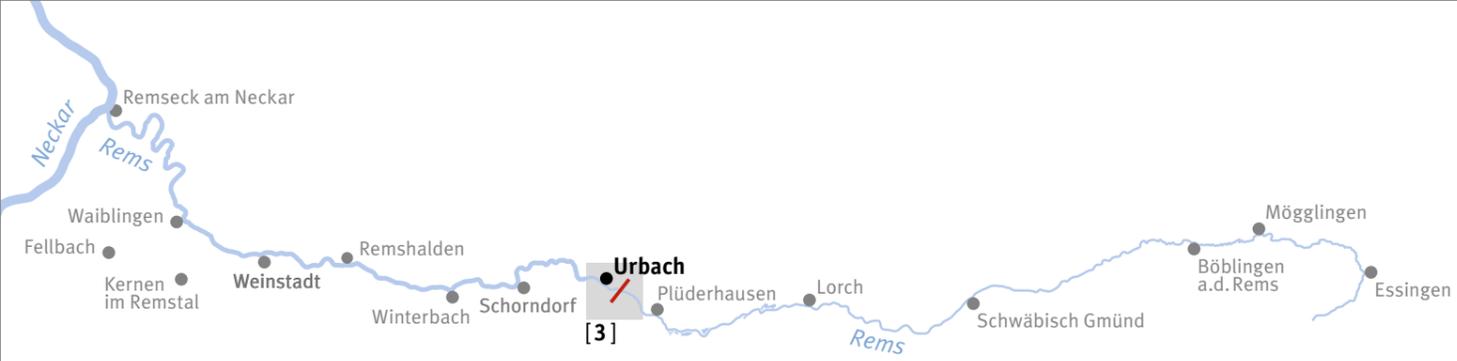
Im Gebiet der historischen Mühlwiesen wurde anlässlich der Landesgartenschau das Ufer der Rems ausgeweitet und renaturiert. Darüber hinaus wurde der bis dahin wenig signifikante Freibereich zu einem räumlich differenzierten Landschaftspark mit hoher Aufenthaltsqualität umgestaltet. Das neue Brückenbauwerk steht in Verlängerung der bereits bestehenden Fuß- und Radwegbrücke über die Rems. Den wieder sichtbar gemachten Heppach überwölbt ist sie Bestandteil der freiräumlichen Neuszenierung.



Längsansicht/Grundriss  
M 1:150

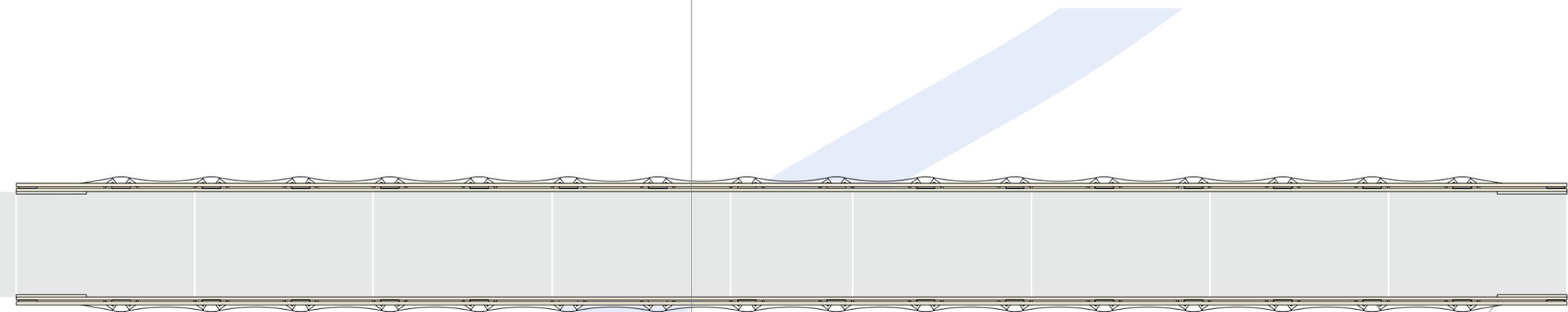
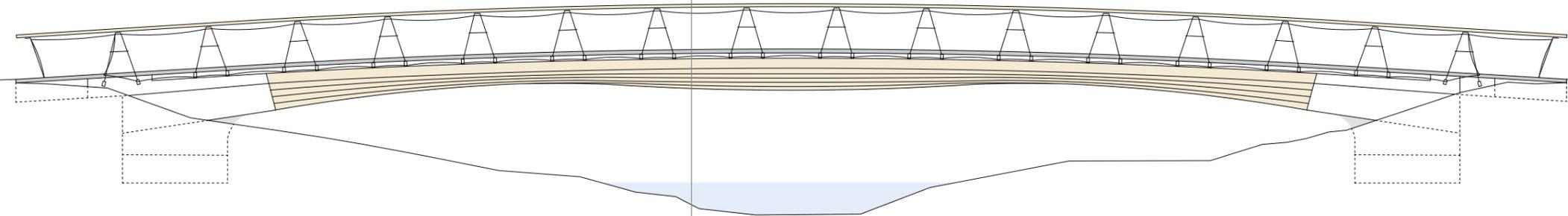


Das neue Brückenbauwerk (Bildmitte) steht in Verlängerung der bereits bestehenden Fuß- und Radwegbrücke über die Rems.



## Urbach

Urbach, in der malerischen Landschaft des mittleren Remstals zwischen dem Schurwald im Süden und dem Welzheimer Wald gelegen, ist der dritte Standort der »Stuttgarter Holzbrücken« im Remstal. Dort überbrückt sie den Urbach und verbindet das Wohngebiet Urbacher Mittel mit dem Ortskern. Sie ist Teil des überregionalen Rad- und Fußwegenetzes und schafft an dieser Stelle die Verbindung zwischen dem Remstalradweg und dem Naherholungsgebiet am Gänsberg.



Längsansicht/Grundriss  
M 1:150





Linke Seite:  
Standort Urbach

Thorsten Helbig ist Gründungspartner bei Knippers Helbig Advanced Engineering, mit Büros in Stuttgart, Berlin und New York. Seit 2018 lehrt er als Associate Professor an der Irwin S. Chanin School of Architecture, The Cooper Union, New York.

Peter Cheret ist zusammen mit Jelena Bozic als Freier Architekt in Stuttgart tätig. Von 1994 bis 2019 lehrte er als Professor an der Universität Stuttgart, Fakultät Architektur und Stadtplanung.

## Bildnachweis

**Schaffitzel Holzindustrie GmbH + Co. KG**  
Werkstattzeichnungen: 20–21 (3x), 22 (2x), 23 u.  
Fotos: 6 o., 14 m.l., 26 u.l. (Bild 2 und 3),  
27 r.u. (Bild 5), 29 r. (4x)

**MPA Universität Stuttgart**  
16–17

**Hering Bau GmbH (Fertigteil), solidian GmbH**  
(Carbonbewehrung) 24 (6x)

## Arbeitsgemeinschaft »Stuttgarter Holzbrücken«

**Knippers Helbig advanced engineering**  
Team Entwurf und Ausführung: Jochen Riederer,  
Stefanie Grün, Adam Seidel, Shiva Saki,  
Thomas Fink, Julian Länge, Dominique Sghair

**Cheret Bozic Architekten BDA DWB**  
Mitarbeiterin: Janina Ruck

Zeichnungen und Visualisierungen:  
Umschlag (Schnitt), 8 u., 9 (3x), 10 (2x), 14 o.,  
15 (2x), 18–19, 23 o., 31, 38–39, 42–43, 46–47  
Fotos Wilfried Dechau: 4, 6 u. (3x), 11 (3x), 12, 13,  
14 u. (2x), 25 r. (Bild 9 und 10), 26 o. (Bild 1 und 4),  
28 (3x), 30, 32 (3x), 33 (4x), 34 (4x), 35 (2x),  
36 (4x), 37 (4x), 39, 40–41, 42 (2x), 44–45, 47,  
48–49, 50

Fotos Peter Cheret: Umschlag (Standort Weinstadt  
»Birkelspitze«), 8 (3x), 25 u.l. (Bild 8)

Foto Jochen Riederer: 25 Bild 7 o.l.

Abb. Seite 7 (2x) aus Blaser, Werner: Alvar Aalto als  
Designer, Stuttgart 1982.

## Quellen

Unter Verwendung von Beiträgen:

Seite 16–17, Versuche zur Tragfähigkeit:  
geklebter Holz-Beton-Stoß  
Dr. Simon Aicher, Jürgen Hezel  
(beide: MPA Universität Stuttgart, Abteilung  
Holzkonstruktionen)

Seite 27–28, Fertigung und Montage  
Schaffitzel Holzindustrie GmbH + Co. KG

## Herausgeber

Holzbau-Offensive Baden-Württemberg  
Ministerium für Ländlichen Raum und  
Verbraucherschutz  
Kernerplatz 10  
70182 Stuttgart



**Baden-Württemberg**

MINISTERIUM FÜR LÄNDLICHEN RAUM  
UND VERBRAUCHERSCHUTZ



REMSTAL  
GARTENSCHAU  
2019

LANDESBEIRAT **HOLZ**  
BADEN - W Ü R T T E M B E R G

**ING**  **BW**  
Ingenieurkammer Baden-Württemberg  
voranbringen – vernetzen – versorgen

Informationsverein Holz e.V.  
Franklinstraße 42  
40479 Düsseldorf  
Telefon +49 (0)211 966 55 80  
Fax +49 (0)211 966 52 82  
info@informationsvereinholz.de  
www.informationsvereinholz.de

Die Wortmarke INFORMATIONSDIENST HOLZ  
ist Eigentum des Informationsverein Holz e.V.

Technische Anfragen an:  
Fachberatung Holzbau  
Telefon +49 (0)30 57 70 19 95  
Montag bis Freitag 9 bis 16 Uhr  
Dieser Service ist kostenfrei.  
fachberatung@informationsdienst-holz.de  
www.informationsdienst-holz.de

Ein Angebot des  
Holzbau Deutschland Institut e.V.  
in Kooperation mit dem  
Informationsverein Holz e.V.

Erschienen 02/2020  
ISSN-Nr. 0466-2114