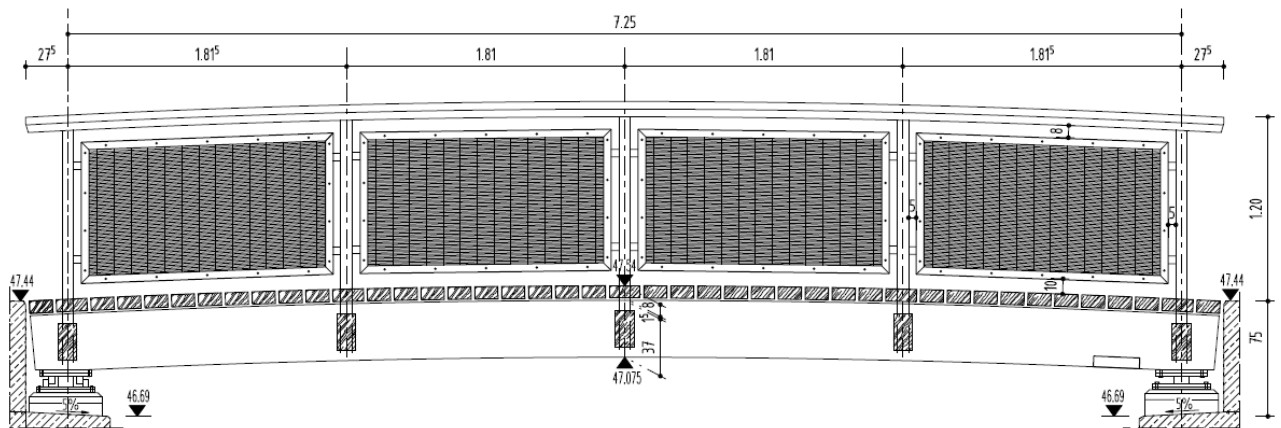


Kurzbeschreibung des Bauvorhabens

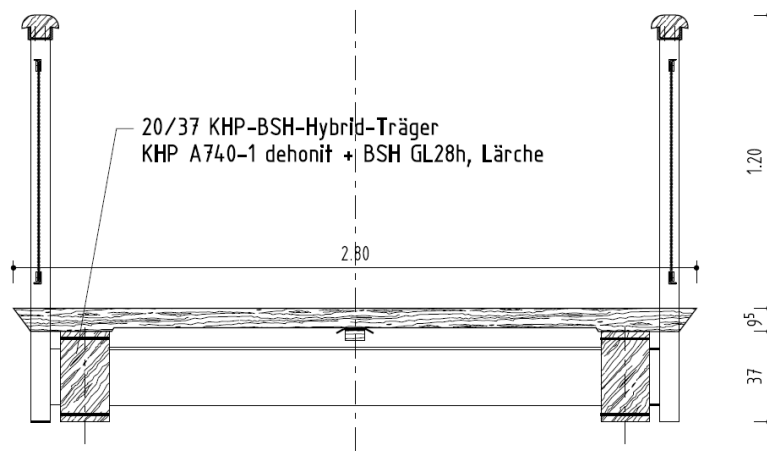
Im Rahmen des Verbundprojektes „Hochleistungszolstragwerke“ wurde vom laFB e.V. in Zusammenarbeit mit den Verbundpartner eine hölzerne Fuß- und Radwegbrücke entwickelt, bei der wesentliche Tragglieder als neuartige Holzverbundbauteile ausgebildet werden. Entgegen der ursprünglichen Planung, die Brücke als Ersatzneubau einer älteren Fuß- und Radwegbrücke zu errichten, soll nun eine äquivalente Konstruktion auf dem Hauptgelände der BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung in Berlin aufgestellt werden und dort für umfangreiche Untersuchungen in situ genutzt werden. Das geplante Bauwerk ist eine flach gegründete Einfeldbrücke mit einer Stützweite von 7,25 m und einer Breite von 2,50 m zwischen den Geländern. Der Überbau besteht aus zwei Hauptträgern, welche mit Querträgern ausgesteift sind, sowie einem Bohlenbelag.

In Abweichung zur konventionellen Holzbrückenbauweise werden die Hauptträger als Hybridträger mit einem Kern aus unbehandeltem Nadelholz und ober- und unterseitig aufgeklebten Kunstharzpressholzlamellen ausgeführt (KHP-BSH-Hybridträger). Die Querträger aus unbehandeltem Nadelholz verfügen über eine oberseitige KHP-Abdecklamelle. In Analogie dazu werden die Bohlen als Hybridbauteile aus thermisch vergütetem Laubholz auf der Oberseite und unbehandeltem Nadelholz auf der Unterseite gefertigt. Als Nadelholz wird für alle Holzbauteile Lärchenkernholz aus alpinen Einschlagsgebieten verwendet.

Die Genehmigungs- und Ausführungsplanung für die Brücke wurde von der KRONE Ingenieurbüro GmbH, jetzt Krone Hamann Reinke Ingenieurbüro GmbH, erbracht.



(a) Längsschnitt der Brücke



(b) Regelquerschnitt der Brücke

Abbildung 1: Längs- und Querschnitt der geplanten Fuß- und Radwegbrücke

| Kontakt | Ansprechpartner | Telefon | E-Mail |
|--|-----------------------------|------------------------|--------------|
| Institut für angewandte Forschung im Bauwesen (laFB) e.V., Sophienstr. 33A, D-10178 Berlin | Hr. Hamann, Fr. Untergutsch | ++49 (0)30 28 39 28 -0 | mail@iafb.de |

Kunstharzpressholz (KHP) ist ein marktgängiges Holzwerkstoffprodukt, das bisher jedoch wenig im Bauwesen eingesetzt wird. Kunstharzpressholz besteht aus verleimten, thermisch verdichteten und mit Kunstharz getränkten Buchenholz Furnierlagen. Die Verdichtung der Furnierschichten führt zu einer Erhöhung der Festigkeiten und Steifigkeiten des Materials. Zur Ausschaltung des sogenannten Rückerinnerungsvermögens des Holzes (Entspannen unter Feuchteinwirkung) und zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit erfolgt die Tränkung mit Kunstharz. Kunstharzpressholz ist sehr dimensionsstabil und resistent gegenüber Umwelteinflüssen. Die konkreten Materialeigenschaften verschiedener KHP-Materialien hängen sehr stark von der Orientierung der Lagen, der Feinheit der Furniere, dem Schichtenaufbau sowie dem Verdichtungs- und Tränkungsgrad ab. Im Pilotprojekt wurde das Produkt KHP A740-1 dehonit (parallele Schicht- richtung mit einer Querlage alle 5 Lagen; Furnierstärke 2,0 mm; vollständige Tränkung) der Firma Deutsche Holz- veredelung Schmeing oHG eingesetzt. Einzelheiten zum Ma- terial Kunstharzpressholz können dem HHT-Merkblatt „Kunstharzpressholz (KHP)“ entnommen werden.

Bei thermisch modifiziertem Holz (TMT) handelt es sich um ein durch Wärmebehandlung in seinen Eigenschaften ver- ändertes Vollholz. Die Behandlung mit Wärme wirkt sich po- sitiv auf die Dauerhaftigkeit des Materials aus. Durch che- mische Umwandlungen im Holz während der Behandlung werden die Eigenresistenz des Holzes erhöht, die Was- seraufnahme-fähigkeit reduziert und die Dimensionsstabilität verbessert. Wesentliche Nebenwirkungen der thermischen Behandlung sind eine Versprödung des Materials und eine verringerte Zugfestigkeit gegenüber unbehandeltem Holz. Die Materialeigenschaften werden stark durch die Bedin- gungen im Vergütungsprozess beeinflusst. Für den Bohlen- belag der Brücke wurde das Produkt TMT Esche 200 (Pro- zess-temperatur 200°C) der Firma Thermoholz Spreewald GmbH verwendet. Umfangreiche Informationen zu ther- misch modifiziertem Holz sind im HHT-Merkblatt „Ther- misch modifiziertes Holz (TMT)“ zusammengefasst.

Abbildung 2 zeigt die Aufbauten der Hybridbauteile mit Kunstharzpressholz und thermisch modifiziertem Holz.

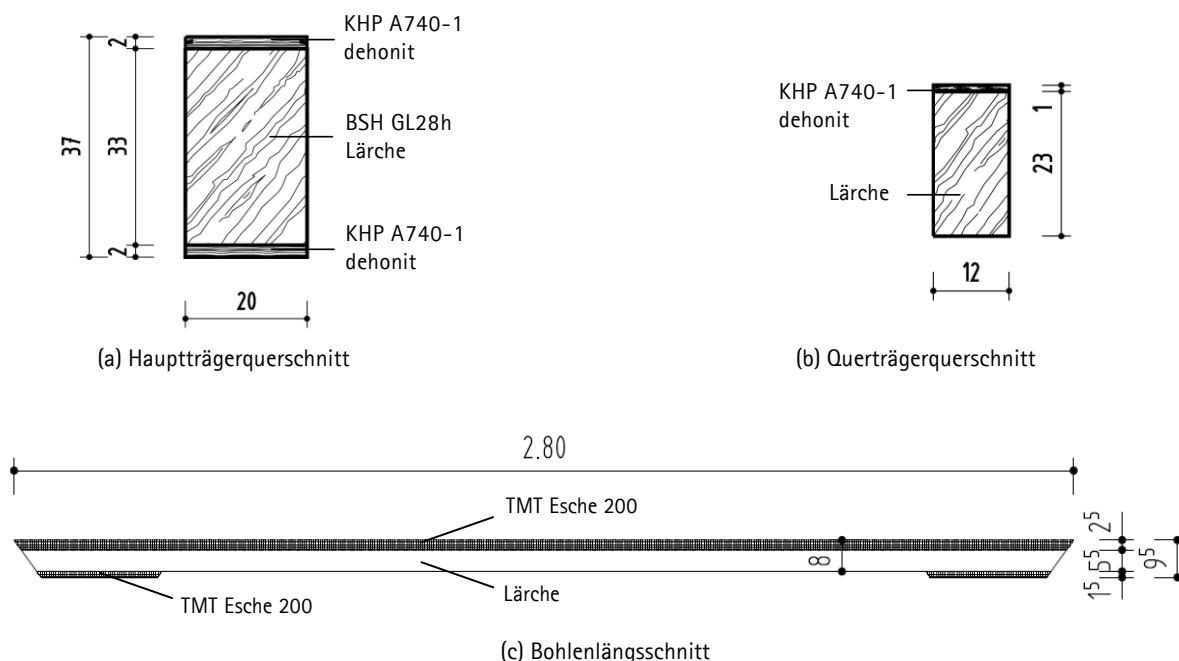


Abbildung 2: Bauteile des Überbaus der Fuß- und Radwegbrücke

Aufgrund der Neuartigkeit der Hybridbauteile soll die Brücke ab ihrer Fertigstellung einem umfangreichen Monitoring unterzogen werden. Dieses beinhaltet zum einen die visuelle Kontrolle der Bauteile, zum anderen aber auch eine faser- sensorische Überwachung der Hauptträger. Hierbei sollen die Dehnungen der Hauptträger mit Hilfe optischer Fa-

sensoren in regelmäßigen Abständen gemessen werden. Genauere Angaben zur fasersensorischen Überwachung können später dem voraussichtlich im Juli 2012 erscheinenden HHT-Merkblatt „Faseroptische Sensorik“ entnommen werden.

| | | | |
|--|-----------------------------|------------------------|--------------|
| Kontakt | Ansprechpartner | Telefon | E-Mail |
| Institut für angewandte Forschung im Bauwesen (laFB) e.V., Sophienstr. 33A, D-10178 Berlin | Hr. Hamann, Fr. Untergutsch | ++49 (0)30 28 39 28 -0 | mail@iafb.de |

Zielsetzungen des Bauvorhabens

Die Hybridbauteile der Brücke wurden mit der Zielsetzung entwickelt, ihre Leistungsfähigkeit hinsichtlich Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit gegenüber einer konventionell errichteten Holzbrücke zu erhöhen. Während sich die Tragfähigkeitssteigerungen rechnerisch bereits vor der Errichtung der Brücke quantifizieren ließen, kann eine Evaluierung der tatsächlichen Dauerhaftigkeit der Hybridbauteile nur über eine Untersuchung der Bauteile über ihre Lebensdauer erfolgen. Für den direkten Vergleich mit konventionell hergestellten Bauteilen wird ein Vergleichsobjekt in die Betrachtungen einbezogen. Hierbei handelt es sich um eine gleichzeitig in Berlin zu errichtende Fuß- und Radwegbrücke mit identischem statischem System, gleichen Abmessungen und ähnlichen Bewitterungsbedingungen in konventioneller Holzbauweise. Der Zustand der Holzbauteile beider Brücken kann so direkt gegenüber gestellt und verglichen werden. In den Vergleich beider Bauwerke werden darüber hinaus die Errichtungs- und Instandhaltungskosten sowie die Ökobilanzen einbezogen werden, um die Qualität der neuartigen Bauteile auch unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten beurteilen zu können.

Durch die Verstärkung des Brettschichtholzes der Hauptträger mit außenliegenden Kunstharzpressholzlammellen kann sowohl die Tragfähigkeit der Träger als auch die Dauerhaftigkeit der Bauteile verbessert werden. Die rechnerische Tragfähigkeit erhöht sich um bis zu 47%¹ gegenüber unverstärkten Trägern gleicher Abmessungen und gleicher Brettschichtholzgüte (siehe Tabelle 1). Gleichzeitig dient die obere KHP-Lamelle aufgrund ihrer guten Witterungsbeständigkeit als oberseitiger Witterungsschutz und erübrigt damit eine zusätzliche Blechabdeckung der Träger. Auf einen seitlichen Überstand der KHP-Lammellen, chemischen Holzschutz und eine seitliche Bekleidung der Hauptträger wurde aufgrund der guten Dauerhaftigkeitseigenschaften von Lärchenkernholz verzichtet [5].

Bei der Ausbildung der Querträger und Bohlen stand die Verbesserung der Dauerhaftigkeit der Bauteile bei gleichzeitigem Verzicht auf Blechabdeckungen und chemischen Holzschutz im Vordergrund. Für die Querträger gilt bezüglich des Witterungsschutzes Gleiches wie bei den Hauptträgern. Als oberseitige Lage der Hybridbohlen wurde das thermisch modifizierte Eschenholz TMT Esche 200 der Firma Thermoholz Spreewald GmbH verwendet, weil es der Dauerhaftigkeitsklasse 1 nach DIN EN 350-2 [1] zugeordnet wer-

¹ Bei einer linear-elastischen Berechnung der Träger als klassische Verbundbauteile berechnet sich die Tragfähigkeitssteigerung zu 26 %. Bei einer Berechnung mit plastischer Druckzone und gerissener Zugzone beträgt die Steigerung unter Annahme voller Biegezugausnutzung des KHPs 47%.

den kann und somit eine optimale Resistenz gegenüber witterungsinduzierten Schäden aufweist. Auf einen seitlichen Überstand der KHP- bzw. TMT-Lammellen und chemischen Holzschutz wurde wie bei den Hauptträgern verzichtet.

Tragfähigkeit der Brückenhauptträger

In der folgenden Tabelle werden die geplanten hybriden Brückenhauptträger hinsichtlich ihrer Tragfähigkeit und Größe mit konventionellen BSH-Trägern verglichen. Die für die Bemessung der Brückenträger erforderlichen Festigkeiten und Steifigkeiten von KHP A740-1 dehonit wurden beim Verbundpartner an der TU Dresden ermittelt und sind im Merkblatt „Kunstharzpressholz (KHP)“ angegeben.²

Erwähnt werden soll an dieser Stelle noch, dass das im Bruchversuch an einem Hybridträger ermittelte Bruchmoment 328 kNm betrug und damit deutlich über dem nach der linear-elastischen Bemessung zu erwartenden Bruchmoment lag. Ursache hierfür sind einerseits die hohen Festigkeiten der Lärche, die durch die Einstufung in GL28h nicht ausreichend berücksichtigt werden können. Andererseits liegt die im Rahmen der Tragwerksplanung durchgeführte rein linear-elastische Rechnung auf der sicheren Seite, unterschätzt die Tragfähigkeit jedoch zum Teil deutlich. Der Ansatz einer teilweise plastifizierten Druckzone und einer teilweise gerissenen Zugzone ist normativ nicht geregelt, bildet das Tragverhalten solcher Hybridträger jedoch wirklichkeitsnäher ab und sollte daher zukünftig verstärkt angewendet werden. Allerdings fehlen zur gesicherten Anwendung noch einige Materialparameter (vgl. [8])

In Kriechversuchen wurde festgestellt, dass KHP unter hohen Dauerlasten große Kriechbeiwerte aufweist, bei geringen Dauerlasten jedoch Kriechbeiwerte unterhalb entsprechender Werte für Fichten- und Lärchenholz zeigt. Aus diesem Grund sollte KHP nur für Bauvorhaben eingesetzt werden, bei denen neben geringen Dauerlasten mit hohen, kurzzeitig wirkenden veränderlichen Lasten zu rechnen ist, wie beispielsweise Fuß- und Radwegbrücken oder auch Dachkonstruktionen. Bei hohen Dauerlasten entzieht sich KHP hingegen der Belastung und lagert diese in die weniger kriechenden Verbundbauteile um.

² Ebenso wurden die mechanischen Kennwerte von TMT Esche 200 an der TU Dresden bestimmt (siehe Merkblatt „Thermisch modifiziertes Holz (TMT)“).

| | | | |
|--|-----------------------------|------------------------|--------------|
| Kontakt | Ansprechpartner | Telefon | E-Mail |
| Institut für angewandte Forschung im Bauwesen (laFB) e.V., Sophienstr. 33A, D-10178 Berlin | Hr. Hamann, Fr. Untergutsch | ++49 (0)30 28 39 28 -0 | mail@iafb.de |

Tabelle 1: Vergleich verschiedener Trägereausführungen gleicher Breite (b = 20 cm)

| Trägereausführung | Material | Bemessungsverfahren | Höhe [cm] | Volumenfaktor [l] ^a | Bemessungsmoment [kNm] | Tragfähigkeitsfaktor [l] ^b |
|---|-------------------------|--|------------|--------------------------------|------------------------|---------------------------------------|
| (1) Hybridträger Fuß- und Radwegbrücke | KHP A740-1 BSH GL28h | linear elastisch | 37 | 1,00 | 92,5 | 1,00 |
| (2) BSH-Träger Tragfähigkeit wie (1) | BSH GL28h | linear elastisch | 41,5 | 1,12 | 92,5 | 1,00 |
| (3) BSH-Träger Abmessungen wie (1) | BSH GL28h | linear elastisch | 37 | 1,00 | 73,6 | 0,80 |
| (4) Hybridträger Aufbau wie (1) | KHP A740-1 BSH GL28h | mit pl. Druckzone und gerissener Zugzone ^c | 37 32,5 | 1,00 0,88 | 108,2 92,5 | 1,17 1,00 |

^a Der Volumenfaktor gibt als einfaches Maß für den Materialaufwand das Verhältnis aus dem Volumen der betrachteten Trägervariante zum Volumen des geplanten Hybridträgers an.

^b Der Tragfähigkeitsfaktor setzt zum Vergleich der Tragfähigkeiten das Bemessungsmoment der betrachteten Trägervariante ins Verhältnis zu der des geplanten Hybridträgers.

^c Die Rechnung erfolgte unter der Annahme voller Biegezugausnutzung des KHP



Abbildung 3: Hybridträger im Bruchversuch

Dauerhaftigkeit der Bauteile des Brückenüberbaus

Für das Kunstharzpressholz in vollgetränkter Qualität kann für den Einsatz im Außenbereich nach Quellenlage und Versuchen im Rahmen des Forschungsvorhabens von einer sehr guten Dauerhaftigkeit ausgegangen werden. Versuche an der Technischen Universität Dresden stützen die Erkenntnis, dass KHP eine um über 50 % verringerte Ausgleichsfeuchte gegenüber Vollholz aufweist und die Feuchteaufnahme im feuchten Umgebungsklima sowie bei Wasserlagerung stark verzögert erfolgt. Für KHP A740-1 wurde bei Wasserlagerung eine Holzfeuchte von 7 % nicht überschritten. Diese deutlich verringerten Ausgleichsfeuchten lassen einen Aufschluss des Materials durch holzerstörende Pilze nicht zu. Zusätzlich verhindert der hohe Tränkungsgrad des Schichtwerkstoffs mit duroplastischen Harzen einen Aufschluss des Holzes durch Mikroorganismen und Insekten. Aus diesen Gründen lässt sich ein Befall des Kunstharzpressholzes durch holzerstörende Pilze und Insekten ausschließen. Die sehr gute Dauerhaftigkeit des Kunstharzpressholzes zeigt sich auch in den durchgeführten Freibewitterungstests.

Nach ca. 20 Monaten in der Freibewitterung sind die untersuchten Verbundquerschnitte formstabil und zeigen neben Vergrauungen und feinen Schwindrissen an den Stirnseiten keine Bewitterungsschäden. Die Schutzwirkung der KHP-Decklamellen wird durch die Versuche demnach bestätigt.

Für das thermisch vergütete Eschenholz Esche 200 ist die Einstufung in Dauerhaftigkeiten der Klasse 1 belegt [3]. Es ist somit ausreichend dauerhaft für den Einsatz als Bohlenbelag. Weiterhin ist von einer ausreichenden Verschleißfestigkeit des Materials auszugehen, da in Untersuchungen kein signifikanter Abfall der Abriebfestigkeiten von thermisch modifiziertem Laubholz festgestellt wurde [4].

Auf einen chemischen Holzschutz des oberseitig abgedeckten Brettschichtholzes wurde verzichtet. Lärchenkernholz ist gemäß DIN EN 350-2 [1] in die Dauerhaftigkeitsklasse 3-4 einzustufen und kann nach DIN EN 460 [2] unter bestimmten Voraussetzungen unbehandelt für Bauteile der Gebrauchsklasse 3 verwendet werden. Untersuchungen zeigen,

| Kontakt | Ansprechpartner | Telefon | E-Mail |
|--|-----------------------------|------------------------|--------------|
| Institut für angewandte Forschung im Bauwesen (laFB) e.V., Sophienstr. 33A, D-10178 Berlin | Hr. Hamann, Fr. Untergutsch | ++49 (0)30 28 39 28 -0 | mail@iafb.de |

dass unbehandeltes Lärchenkernholz sehr gut für den Einsatz in Gebrauchsklasse 3 geeignet ist [5]. Ziel der Auswahl alpiner Einschlagsgebiete für das Lärchenkernholz war es, Holz mit einem besonders hohen mittleren Gehalt an positiv mit der Dauerhaftigkeit korrelierenden Extraktstoffen zu gewinnen. Eine Überprüfung der Dauerhaftigkeit des verwendeten alpinen Lärchenholzes durch eine normgemäße Beaufschlagung mit holzerstörenden Basidiomyceten zeigte jedoch, dass es im konkreten Fall nicht besser als in die Dauerhaftigkeitsklasse 3–4 einzustufen war.

Die für die Dauerhaftigkeit der Verbundbauteile wichtige Qualität der Klebefugen konnte in Delaminationsprüfungen

Ökologische Bewertung

Für die ökologische Bewertung wurde der Lebenszyklus dreier geplanter und Anfang 2011 in Berlin zu errichtender Fuß- und Radwegbrücken betrachtet: eine Brücke in konventioneller Holzbauweise (Hummelweg), die beschriebene Hochleistungsholzkonstruktion (Henzesteg) und eine konventionelle Stahlbrücke (Bäkepark).

nach DIN EN 391 [7] und Klimaschrankversuchen nachgewiesen wurden. Als Klebstoff wird für die Hybridträger und –bohlen ein Resorcinharz verwendet.

Kosten der Bauteile

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Dokumentation kurz vor der Errichtung des geplanten Brückenbauwerks und der Vergleichsbrücken liegen ausschließlich die angebotenen Errichtungskosten vor. Die Instandhaltungskosten werden im Verlauf der nächsten Jahre erhoben und verglichen.

Abmessungen und statische Systeme der beiden Holzbrücken stimmen überein. Die Stahlbrücke weist eine etwas größere Länge und Breite auf, daher wurden die Bauteilgrößen rechnerisch auf die Holzmaße skaliert. Weiteres ist [8] zu entnehmen. Die berücksichtigten Eingangsgrößen können Abbildung 4 entnommen werden.

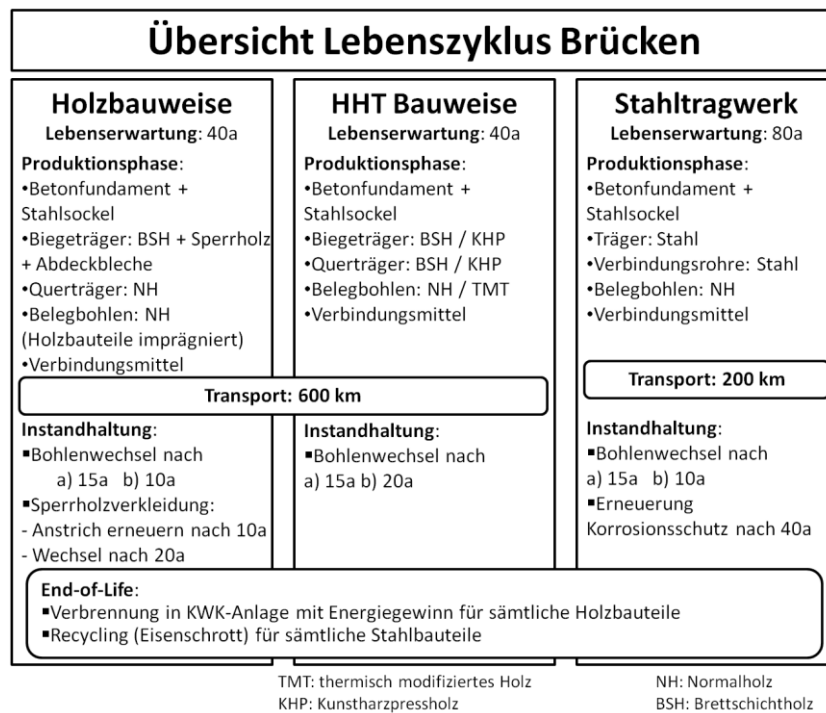
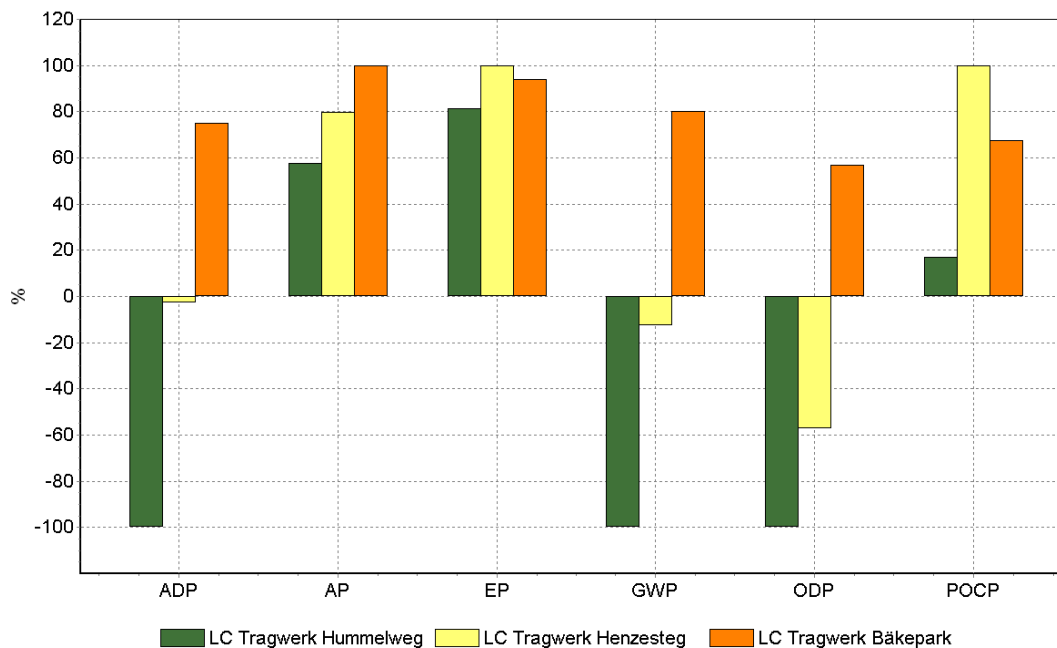


Abbildung 4: Übersicht Sachbilanz Lebenszyklus der drei Brücken

Beim Vergleich ist zu beachten, dass für das Hochleistungsholztragwerk zwar eine höhere Dauerhaftigkeit vermutet wird als für die übliche Holzkonstruktion, dieses jedoch noch nicht belegt werden kann und daher in der Ökobilanz nicht angesetzt wurde. Kann die höhere Dauerhaftigkeit und damit eine höhere Lebenserwartung nachgewiesen werden, verbessert dies natürlich die Bilanz. Zudem entstammen die Trägermaße der Ausführungsplanung, das heißt, bei dem

Hybridträger wurde nur die geringe Tragfähigkeit aus der linear-elastischen Rechnung berücksichtigt. Kann der Träger bei Ansatz genauerer Rechenverfahren in geringerer Höhe ausgeführt werden, verbessert natürlich auch dies die Ökobilanz. Wird nur das eigentliche Tragwerk betrachtet, bestehend aus Hauptträgern, Querträgern und Bohlenbelag, ergibt sich folgender Vergleich (siehe Abbildung 5):



Abiotischer Ressourcenabbau [kg Sb eq] (ADP, Abiotic Depletion Potential)
 Versauerungspotential [SO₂ eq] (AD, Acidification Potential)
 Ozonabbaupotential [R11 eq] (ODP, Ozone Layer Depletion Potential)

Erderwärmungspotential [CO₂ eq] (GWP, Global Warming Potential)
 Eutrophierungspotential [PO₄] (EP, Eutrophication Potential)
 Sommersmogpotential [Ethen eq] (POCP, Photochemical Oxidation Potential)

Abbildung 5: CML: Lebenszyklusvergleich der Tragwerke

In allen Wirkungskategorien zeigt die konventionelle Holzbrücke die geringsten Umweltauswirkungen, in drei Kategorien können sogar negative Werte, also Gutschriften, erzielt werden. Die konventionelle Stahlbrücke zeigt in fast allen Wirkungskategorien die größten Umweltauswirkungen, Ausnahme sind EP und POCP, in welchen die Hochleistungsholzkonstruktion sogar höhere Werte zeigt. Größter Verursacher ist hier das KHP und vor allem dessen großer

Harzanteil. Hier wird Optimierungspotential beim Herstellprozess gesehen. Zudem verbessert sich die Ökobilanz, wie oben beschrieben, wenn die höheren Tragfähigkeiten und Dauerhaftigkeiten belegt werden können, was nach einigen Jahren Monitoring der Hochleistungsholzbrücke geschehen sein sollte. Für die weitere Auswertung siehe [8]

Literatur

- [1] DIN EN 350-2- Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Natürliche Dauerhaftigkeit von Vollholz - Teil 2: Leitfaden für die natürliche Dauerhaftigkeit und Tränkbarkeit von ausgewählten Holzarten von besonderer Bedeutung in Europa. 10-1994
- [2] DIN EN 460 - Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Natürliche Dauerhaftigkeit von Vollholz - Leitfaden für die Anforderungen an die Dauerhaftigkeit von Holz für die Anwendung in den Gefährdungsklassen. 10-1994
- [3] Überwachungsbericht zum „Gütezeichen TMT“, Entwicklungs- und Prüflabor Holztechnologie GmbH, Bestimmung von mechanischen und physikalischen Kennwerten sowie Bewertung der Dauerhaftigkeit von thermisch modifizierter Buche und Esche. THS Spreewald GmbH. 2008
- [4] Brischke C.; Koch S. et al.: Surface properties of thermally treated wood – wear, abrasion and hardness. European Conference on Wood Modification. Göttingen 2005
- [5] Augusta, U.: Untersuchung der natürlichen Dauerhaftigkeit wirtschaftlich bedeutender Holzarten bei verschiedener Beanspruchung im Außenbereich. Dissertation. Universität Hamburg. 2007
- [6] Gierlinger, N.; Wimmer, R.: Radial distribution of heartwood extractives and lignin in mature European larch. In: Wood and Fiber Science 36(3) 2004 S. 387-394
- [7] DIN EN 391 - Brettschichtholz - Delaminierungsprüfung von Klebstoffugen. 04-2002
- [8] Abschlussbericht zum BMBF-Vorhaben „Hochleistungsholztragwerke – HHT – Entwicklung von hochbelastbaren Verbundbauweisen im Holzbau mit faserverstärkten Kunststoffen, technischen Textilien und Formpressholz“, Februar 2011

| | | | |
|--|-----------------------------|------------------------|--------------|
| Kontakt | Ansprechpartner | Telefon | E-Mail |
| Institut für angewandte Forschung im Bauwesen (laFB) e.V., Sophienstr. 33A, D-10178 Berlin | Hr. Hamann, Fr. Untergutsch | ++49 (0)30 28 39 28 -0 | mail@iafb.de |