

Allgemeines

Wie im Bauwesen üblich werden unter Hybriden Verbundbaustoffe bzw. -bauteile verstanden. Die Einzelelemente weisen dabei unterschiedliche Eigenschaften auf und können jeweils bestimmte Anforderungen erfüllen. Durch das Zusammen-setzen der Elemente können Eigenschaften verbessert, Schwächen vermindert oder auch neue Eigenschaften erzielt werden. Ein Hauptziel des HHT-Projektes war die Herstellung von Hochleistungsbauprodukten mit je nach Anforderungen gewünschten Eigenschaften (vgl. [1]). Eine Möglichkeit, dieses Ziel zu erreichen, besteht in der Verwendung von Hybridbauteilen. Dabei können sowohl die Tragfähigkeit als auch die Gebrauchstauglichkeit, die Dauerhaftigkeit, ökonomische oder ökologische Aspekte, die Ästhetik oder eine Kombination einiger oder sogar aller genannter Punkte im Vordergrund stehen. Besondere Vorteile ergeben sich, wenn durch das Zusammensetzen verschiedener Einzelteile zu Hybridbauteilen mehrere Anforderungen erfüllt werden können, beispielsweise nicht nur die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit sondern auch die Dauerhaftigkeit gesteigert und negative Umwelteinflüsse vermindert werden. Entscheidend ist jedoch, dass anfänglich die Anforderungen an das Hybridbauteil definiert werden und die Zusammensetzung der Einzelteile zum Hybrid dann auf genau diese Anforderungen abgestimmt wird. Ist beispielsweise lediglich eine erhöhte Dauerhaftigkeit erwünscht bzw. erforderlich, muss kein hochfestes Material gewählt werden. Die anforderungsgerechte Zusammenstellung von Hybridbauteilen sollte nicht zuletzt aus ökologischen und ökonomischen Gründen erfolgen.

Im Folgenden werden Hybridbauteile aus üblichem Voll- oder Brettschichtholz (als Grundmaterial) in Verbindung mit vergüteten Produkten auf Holzbasis betrachtet. Für Biege- oder Längskraftverstärkungen aus anderen Materialien wie beispielsweise Faserkunststoffverbunde können die folgenden Betrachtungen ebenfalls Anwendung finden. Dabei wird jeweils starrer Verbund vorausgesetzt. Die einzelnen Lamellen müssen folglich miteinander verklebt werden.

Im HHT-Projekt waren schwerpunktmäßig zwei verschiedene Hybridbauteile Gegenstand der theoretischen und praktischen Untersuchungen. Einerseits sollten Hybridträger realisiert werden, für die – gegenüber üblichem Brettschichtholz – erhöhte Tragfähigkeiten und erhöhte Dauerhaftigkeiten gefordert wurden. Hierfür wurden KHP-BSH-Hybridträger konzipiert, die aus einem Kern aus Brettschichtholz und Randlamellen aus Kunstharzpressholz (siehe auch HHT-Merkblatt „Kunstharzpressholz (KHP)“) bestehen. Andererseits sollten Hybridbohlen gefertigt werden, die zwar geringere Anforderungen bezüglich der Tragfähigkeit zu erfüllen hatten, jedoch ebenfalls eine erhöhte Dauerhaftigkeit aufweisen sollten. Diesbezüglich wurden TMT-Lärche-Hybridbohlen geplant, die aus Nadelholz mit einer Decklamelle aus thermisch modifiziertem Holz bestehen (siehe auch HHT-Merkblatt „Thermisch modifiziertes Holz (TMT)“). Beide Hybridbauteile werden in einem Pilotprojekt eingesetzt (siehe auch HHT-Kurzdokumentation „Pilotprojekt Fußgängerbrücken“).

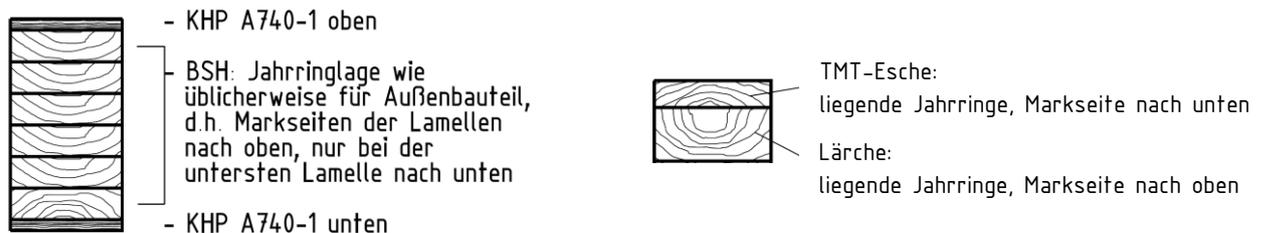


Abb. 1: Querschnitt eines Hybridträgers und einer Hybridbohle

Tragfähigkeit von Hybridträgern

Für Hybridträger und -bohlen dieser Art ergibt sich das einfachste Rechenmodell bei Ansatz einer linear-elastischen Spannungs-Dehnungsbeziehung bei ungerissenen Querschnitten, was in DIN 1052:2008-12 geregelt ist. Abweichend von der Norm kann jedoch auch ein teilweises Plastifizieren der Druckzone, eine teilweise gerissene Zugzone (analog dem Zustand II im Stahlbetonbau) oder eine Kombination aus beidem angesetzt werden. Die verschiedenen Modelle sind im Folgenden dargestellt. Dabei werden jeweils ein Querschnitt mit einer reinen Biegezugverstärkung, welche (bei positivem Moment) am unteren Querschnittsrand angeordnet ist, und ein Querschnitt mit einer Biegedruck- und Biegezugverstärkung, welche am oberen und am unteren Querschnittsrand vorhanden ist, betrachtet.

Beim linear-elastischen Rechenmodell verteilen sich die Kräfte nach den Steifigkeiten. Aus dem linearen Dehnungsverlauf ergibt sich ein linearer Spannungsverlauf. Der Schwerpunkt des Hybridquerschnitts muss unter Berücksichtigung der Steifigkeiten bestimmt werden, beim symmetrisch verstärkten Träger bleibt er natürlich in Querschnittsmitte. Die inneren Schnittgrößen können durch Aufstellen des Kräfte- und Momentengleichgewichts ermittelt werden.

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

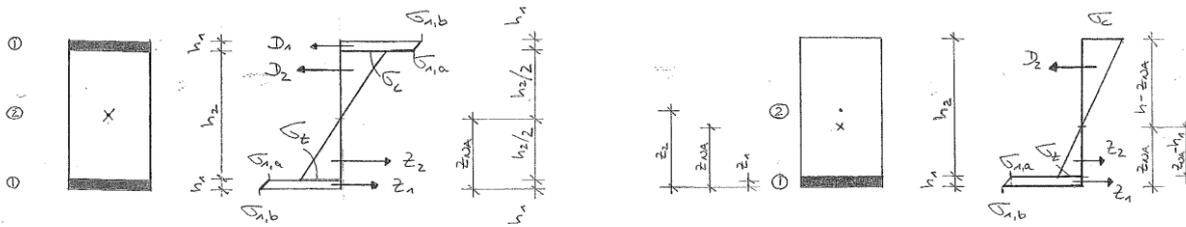


Abb. 2: Spannungsverteilung nach linear-elastischem Rechenmodell

Bei Ansatz einer teilweise plastifizierten Druckzone wird eine elastisch-plastische Spannungs-Dehnungs-Beziehung zugrunde gelegt. Vereinfacht kann dabei davon ausgegangen werden, dass die Spannungen bei Erreichen der entsprechenden Festigkeit konstant bleiben, die Dehnungen jedoch zunehmen. Dieser Ansatz ist für einseitig verstärkte Träger gut geeignet, für beidseitig verstärkte Träger jedoch wenig sinnvoll (weiteres siehe [1]).

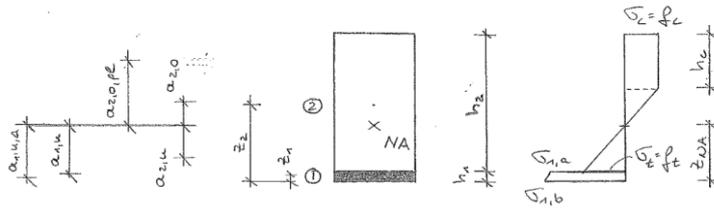


Abb. 3: Spannungsverteilung bei teilweise plastifizierter Druckzone

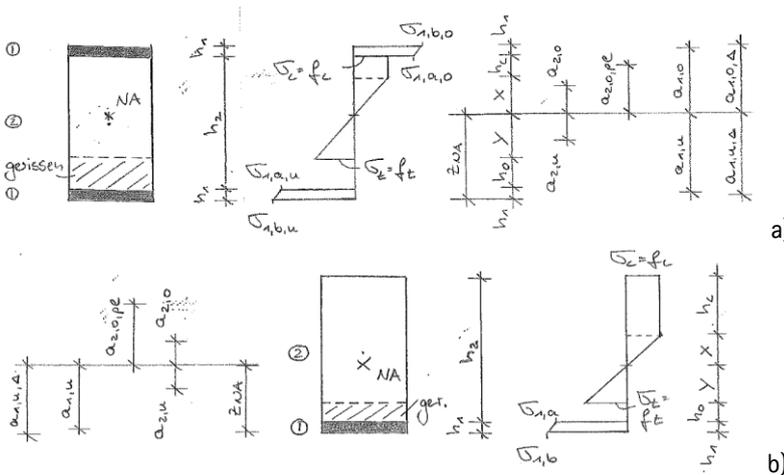


Abb. 4: Spannungsverteilung bei teilweise plastifizierter Druckzone und gerissener Zugzone

Der Ansatz mit teilweise plastifizierter Druckzone und teilweise gerissener Zugzone geht davon aus, dass überbeanspruchte Holzbereiche reißen und die Spannungen in die Verstärkung umlagern. Diese wirkt dann wie eine Bewehrung im (gerissenen) Beton. Die aufnehmbaren Momente lassen sich in diesem Fall bestimmen zu:

$$M_a) = f_t \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} + \left[\frac{f_c \cdot 3 \cdot n \cdot \alpha_1^2 \cdot (1 - \alpha_{NA} - \alpha_1/3) + 6 \cdot n \cdot \alpha_1 \cdot (1 - \alpha_{NA} - \alpha_1) \cdot (1 - \alpha_{NA} - \alpha_1/2)}{1 - \alpha_{NA} - \alpha_1 - \alpha_c} + 6 \cdot \frac{f_c}{f_t} \cdot \alpha_c \cdot (1 - \alpha_{NA} - \alpha_1 - \alpha_c/2) + 2 \cdot \frac{f_c}{f_t} \cdot (1 - \alpha_{NA} - \alpha_1 - \alpha_c)^2 + 2 \cdot (\alpha_{NA} - \alpha_1 - \alpha_0)^2 + \frac{6 \cdot n \cdot \alpha_1 \cdot (\alpha_{NA} - \alpha_1) \cdot (\alpha_{NA} - \alpha_1/2) + 3 \cdot n \cdot \alpha_1^2 \cdot (\alpha_{NA} - \alpha_1/3)}{\alpha_{NA} - \alpha_1 - \alpha_0} \right]$$

$$M_b) = f_t \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} + \left[\frac{f_c \cdot 3 \cdot n \cdot \alpha_1^2 \cdot (1 - \alpha_{NA} - \alpha_1/3) + 6 \cdot n \cdot \alpha_1 \cdot (1 - \alpha_{NA} - \alpha_1) \cdot (1 - \alpha_{NA} - \alpha_1/2)}{1 - \alpha_{NA} - \alpha_1 - \alpha_c} + 6 \cdot \frac{f_c}{f_t} \cdot \alpha_c \cdot (1 - \alpha_{NA} - \alpha_1 - \alpha_c/2) + 2 \cdot \frac{f_c}{f_t} \cdot (1 - \alpha_{NA} - \alpha_1 - \alpha_c)^2 + 2 \cdot (\alpha_{NA} - \alpha_1 - \alpha_0)^2 + \frac{6 \cdot n \cdot \alpha_1 \cdot (\alpha_{NA} - \alpha_1) \cdot (\alpha_{NA} - \alpha_1/2) + 3 \cdot n \cdot \alpha_1^2 \cdot (\alpha_{NA} - \alpha_1/3)}{\alpha_{NA} - \alpha_1 - \alpha_0} \right]$$

Bei den untersuchten KHP-BSH-Hybridträgern werden auch unter der vereinfachten Annahme voller Biegezugauslastung des KHP mit diesem Rechenmodell wirklichkeitsnahe Tragfähigkeiten errechnen. Für andere Zusammensetzungen oder eine genauere Betrachtung müssen jedoch die Spannungs-Dehnungs-Beziehungen der Materialien zugrunde gelegt und unter Beachtung des linearen Dehnungsverlaufes die Rechnung dann so lange iteriert werden, bis mit den zu den Dehnungen gehörenden Spannungen ein Gleichgewicht erzielt wird (weiteres siehe [1]).

Für die Anwendung der Rechenmodelle wurde eine Exceltabelle „Bemessung Hybridträger und Hybridbohlen“ erstellt. Weitere Informationen können der Website www.iafb.de entnommen werden.

Zur Überprüfung der Tragfähigkeit wurden vom ISH einige Biegeversuche an KHP-BSH-Hybridträgern sowie ein Bruchversuch am vorgesehenen Brückenträger durchgeführt. Vor allem letzterer bestätigt, dass eine rein linear-elastische Betrachtungsweise die Tragfähigkeit zum Teil deutlich unterschätzt.



Abb. 5: 4-Punkt-Biegeversuche Hybridträger

Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit von Hybridbauteilen

Die Gebrauchstauglichkeit lässt sich grundsätzlich immer dann verbessern, wenn Materialien verwendet werden, die eine höhere Steifigkeit aufweisen als das Grundmaterial. Dann steigt zwangsläufig die Gesamtsteifigkeit des Hybridbauteils. Für die Ermittlung sind neben den Einzelsteifigkeiten lediglich die Steineranteile unter Berücksichtigung des jeweiligen Schwerpunktes a_i der Einzelteile zu bestimmen. Ein nachgiebiger Verbund wird wie erwähnt hier nicht behandelt.

Zu berücksichtigen ist, dass für Hybridbauteile wegen des in der Regel unterschiedlichen Langzeitverhaltens der Einzelteile mindestens der Anfangszustand – unter Berücksichtigung der Kurzzeitsteifigkeiten – und der Endzustand – unter Berücksichtigung des Kriechens – zu betrachten ist. Das Material, welches stärker kriecht, entzieht sich im Laufe der Zeit der Belastung, so dass Spannungen in das weniger kriechende Material umgelagert werden. Gerade bei Materialien, die für eine Traglaststeigerung vorgesehen sind, ist folglich darauf zu achten, dass diese nicht „wegkriechen“ und damit ihre tragfähigkeitssteigernde Wirkung verlieren. Für KHP wurden zum Teil sehr große Kriechzahlen k_{def} ermittelt. Während KHP unter einer geringen Dauerlast sehr wenig kriecht, treten bei hohen Dauerlasten große Kriechzahlen auf. Bei Ansatz eines linear-elastischen Rechenmodells ist dies unkritisch, da in diesem Fall nur geringe Spannungen im KHP und damit kleine Kriechzahlen auftreten. Soll jedoch ein Rechenmodell unter Ansatz einer gerissenen Zugzone und der vollen Ausnutzung der Biegezugfestigkeit des Verstärkungsmaterials verwendet werden, müssen die großen Kriechzahlen von im Mittel 1,2 (in NKL 1) bis 3,7 (in NKL 3) zwingend berücksichtigt werden. Dies führt dazu, dass die tragfähigkeitssteigernde Wirkung von KHP bei hohen Dauerlasten im Laufe der Zeit verloren geht. Zudem sind die Dauerfestigkeiten noch nicht bestimmt, weshalb der Nachweis im Endzustand zur Zeit mit großen Unsicherheiten behaftet ist.

Zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit eignen sich alle Materialien, bei denen die Wasseraufnahme und der Aufschluss durch Pilze und Insekten vermindert sind. Hierzu gehören die verwendeten Materialien KHP (vollgetränkt) und TMT. Bezüglich der Dauerhaftigkeit wurden verschiedene Versuche sowohl für die Materialien selbst als auch für die Hybridbauteile durchgeführt. Für TMT liegen zudem mit dem „Gütezeichen TMT“ und den in diesem Zusammenhang durchgeführten Prüfungen des Entwicklungs- und Prüflabors Holztechnologie GmbH (eph) zahlreiche Materialkennwerte und die Einstufung in Dauerhaftigkeitsklassen vor. Für das verwendete Produkt TMT Esche 200 der Firma Thermoholz Spreewald GmbH kann die Dauerhaftigkeitsklasse 1 (gegen holzerstörende Pilze) angesetzt werden, das Material ist also sehr dauerhaft. Für KHP stehen solche Einstufungen aus. Die im Projekt durchgeführten Versuche zeigen eine sehr hohe Dauerhaftigkeit, dies ist jedoch in Langzeituntersuchungen und beispielsweise Pilzprüfungen weiter zu untersuchen, um statistisch abgesicherte Angaben zu erhalten.

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



Abb. 6: KHP-BSH-Hybridträgerausschnitte in der Freibewitterung



Abb. 7: TMT-Lärche-Hybridbohlenschnitte in der Freibewitterung

Bei Hybridbauteilen, die solche Materialien mit verminderter Wasseraufnahme enthalten, ist zu beachten, dass diese in der Regel ein verändertes Schwind- und Quellverhalten zeigen, so dass mit Zwangsspannungen in den Verbundfugen zu rechnen ist. Bei vergüteten Materialien sind zudem größere Temperaturexpansionskoeffizienten möglich, so dass auch das Verhalten bei veränderlichen Temperaturen untersucht werden sollte, auch wenn dieses im Holzbau in der Regel von untergeordneter Bedeutung ist.

Ökologische Bewertung

Die ökologische Bewertung der Hybridbauteile hängt unmittelbar mit den Einzelelementen und der erzielten Wirkung deren Kombination zu einem Hybridbauteil ab. Für die Einzelelemente können Ökobilanzdaten den HHT-Materialmerkmale entnommen werden. Für Hybridbauteile spielen der spezifische Einsatzbereich, die Lebensdauer, die erzielten Verbesserungen etc. eine maßgebende Rolle, daher kann keine allgemeingültige Aussage getroffen werden. Für die im Brückenpilotprojekt eingesetzten Hybridträger und -bohlen sind Angaben in der HHT-Kurzdokumentation „Pilotprojekt Senatsbrücken“ sowie in [1] enthalten.

Einsatzmöglichkeiten / Anwendungsempfehlungen

Hybridbauteile eignen sich hervorragend für alle Anwendungsbereiche, in denen die Kombination der Einzelteile zu einem Verbundbauteil Vorteile bietet – sei es in Hinblick auf Tragfähigkeit, Dauerhaftigkeit, aus ökonomischen, ökologischen oder anderen Gründen. Wichtig ist in jedem Fall, dass anfänglich die Anforderungen an das zu konzipierende Hybridbauteil definiert werden und die Zusammensetzung der Einzelteile zum Hybrid dann auf genau diese Anforderungen abgestimmt wird. Besondere Vorteile ergeben sich immer dann, wenn mehrere Anforderungen erfüllt werden können, wie beispielsweise erhöhte Tragfähigkeiten und erhöhte Dauerhaftigkeiten für Hochleistungsholztragwerke im Außenbereich. Die anforderungsgerechte Zusammenstellung von Hybridbauteilen sollte dabei jedoch im Vordergrund stehen und nicht zuletzt aus ökologischen und ökonomischen Gründen erfolgen.

Hybridbauteile mit stark kriechenden Verstärkungslamellen werden nur für solche Anwendungen empfohlen, bei denen neben einer geringen ständigen Last vor allem hohe veränderliche Lasten – beispielsweise aus Wind, Schnee oder kurzzeitig wirkenden Verkehrslasten – abzutragen sind. Mögliche Einsatzbereiche sind daher zum Beispiel Dach- und Hallenkonstruktionen sowie Fuß- und Radwegbrücken. Auch zum Abtrag kurzzeitig wirkender hoher außergewöhnlicher Einwirkungen – wie beispielsweise Anprall, Explosionen oder Erdbeben – eignen sich solche Hybridbauteile gut. Zum Abtrag hoher ständiger Lasten sind sie jedoch ungeeignet.

Literatur

[1] Abschlussbericht zum BMBF-Vorhaben „Hochleistungsholztragwerke – HHT – Entwicklung von hochbelastbaren Verbundbauweisen im Holzbau mit faserverstärkten Kunststoffen, technischen Textilien und Formpressholz“, Feb. 2011

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