

# Wiederverwendung tragender Bauteile

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Graf  
t-lab Holzarchitektur und Holzwerkstoffe,  
RPTU Kaiserslautern-Landau  
Kaiserslautern, Deutschland







Die Gebäudeebene: Die Nutzungsneutralität ermöglicht Flexibilität sowie Anpassungsfähigkeit und Veränderbarkeit, sie bedeutet damit Langlebigkeit der Grundrissstruktur. Umnutzungs- und Aufstockungspotentiale im Bestand bedeuten Ressourcenerhalt sowie Einsparungen grauer Emissionen.

Die Bauteilebene (z. Bsp. Außenwand, Geschossdecke, Innenwand etc.): Die Bauteilebene besteht aus geschichteten Bauelementgruppen. Der zerstörungsfreie Rück-, bzw. Ausbau des gesamten (standardisierten) Bauteils garantiert die Wiederverwendung an anderer Stelle, in anderen Bauwerken.

Die Bauelementebene (z. Bsp. Tragelement / Konstruktionsschicht, Fenster, Türe, Sonnenschutzelement etc.): Die Bauelemente bestehen aus Baukomponenten. Die standardisierte Elementierung gliedert systematisch das Bauteil und steigert die Wieder-verwendbarkeit. Die Ausbaufähigkeit aus der Bauteilebene erlaubt in Abhängigkeit der tektonisch lösbaren Elementgruppen (z. B. außen- und raumseitige Bekleidung) die Anpassung an Austauschzyklen.

Die Baukomponentenebene (z. Bsp. Rähm, Schwelle, Holzwerkstoffplatte, Verbindungsmittel, Elektrodose etc.): Standardisierung, Sortenreinheit und reversible Verbindungen garantieren die Rückbaubarkeit aus der Bauelementebene und die anschließende Wieder- und Weiterverwendung der Komponenten. Die zerstörungsfreie Rückbaubarkeit (Reversibilität) wird durch formschlüssige Verbindungen erreicht.

Die Materialebene (z. Bsp. Holz, Lehm, Beton, Stahl, Fasern etc.): Kreislauffähig sind Materialien wie Holz oder Lehm im biologischen Kreislauf bzw. wie Stahl und Kupfer im technischen Kreislauf. Die sortenreine Wiederverwertung (Recycling) verstärkt die Kreislaufwirkung.

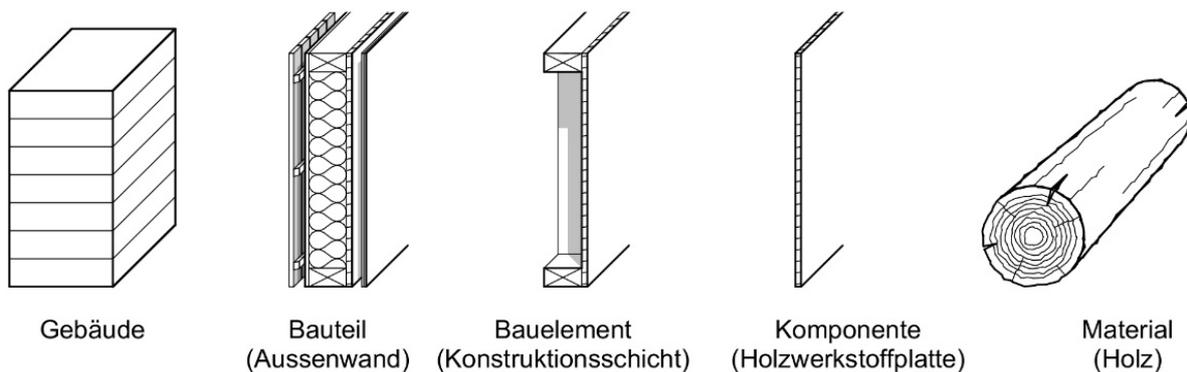


Abbildung 2: Die verschiedenen Ebenen der Kreislauffähigkeit von Bauwerken [4]

In [6], [7], [8], [9], [10] wird aufgezeigt, wie kreislaueffektives Bauen gelingen kann. Im «konstruktiven Holzbau» bedeutet kreislaueffektives Bauen neben der Langlebigkeit durch Nutzungsflexibilität im Wesentlichen:

- Ressourceneffiziente und ressourceneffektive Tragwerke, elementiert und standardisiert
- Reversible, form- und kraftschlüssige Verbindungen
- Materialhybride aus unterschiedlichen Holzwerkstoffen
- Einsatz neuartiger Baukomponenten

Zwei Beispiele sollen das «neue Bauen mit Holz» verdeutlichen. Ressourcenschonend ist z. B. die Wiederverwendung von Brettsper Holzplatten aus dem Rückbau von Gebäudedecken oder -wänden oder aus Produktionsresten von Fenster- und Türausschnitten zu neuen Deckenelementen (Abb. 3). Buchen-Furnierschichtholzlamellen beispielsweise bilden zusammen mit den Brettsper Holz-Produktionsresten tragfähige, elementierte und standardisierte Balkendecken, die reversibel werkseitig vorgefertigt und auf der Baustelle endmontiert werden. Zu beachten sind schubfeste Verbindungen zur zusätzlich notwendigen Ausbildung von Deckenscheiben.

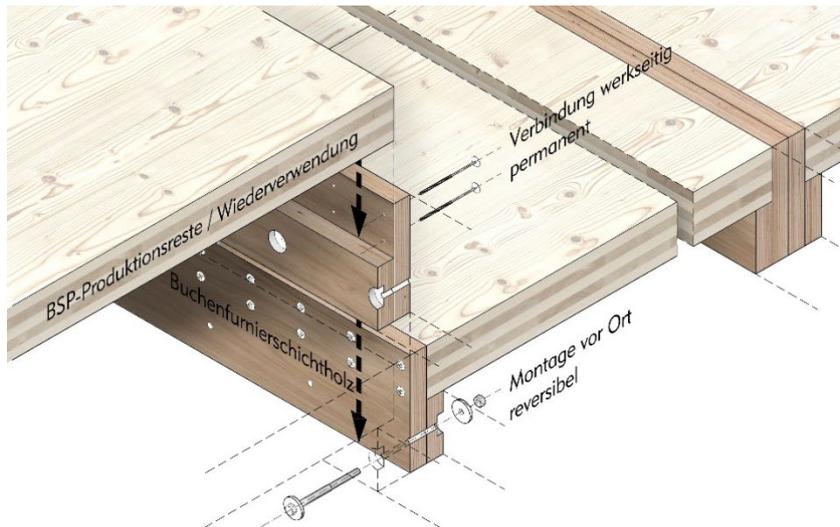


Abbildung 3: Standardisiertes, reversibles Deckenelement.  
Quelle: t-lab Holzarchitektur und Holzwerkstoffe (t-lab) (aus [11]).

Beispiel 2: In einem von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) geförderten Projekt [12] wird die Verwendung von Buchenholz niedriger Qualität aus dem Stamminneren für I-förmige Dachträger großer Spannweite untersucht (Abb. 4).

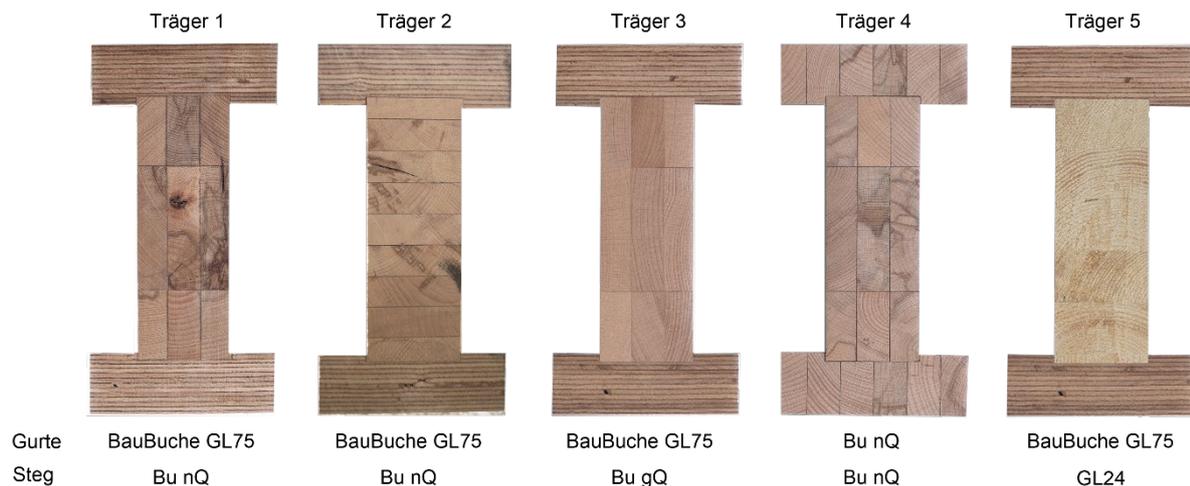


Abbildung 4: I-förmige Dachträger aus Buchenholz niedriger Qualität aus dem Stamminneren [12].  
Quelle: t-lab

Der beanspruchungsoptimierte I-Träger ist durch die digitalen Fertigungsprozesse dann wirtschaftlich herstellbar, wenn er standardisiert in Serie hergestellt wird. Kreislauffeffektiv wird der I-Träger, wenn er zerstörungsfrei rückbaubar und damit zur Wiederverwendung geeignet in das Gesamttragwerk eingebunden ist (Abb. 5 bis Abb. 6). Ist die Architektur und die Konstruktion dafür entworfen, sind neuartige Baukomponenten sinnvoll und die aufwändige Erforschung der mechanischen Eigenschaften der Komponenten und reversiblen Verbindungen gerechtfertigt. Diese Trägerform ist bei Hallentragwerken von 10 m bis ca. 35 m Spannweite einsetzbar. Beispielhaft ist in Abb. 5 eine Werkhalle mit 16 m Spannweite dargestellt. Das einfache Bauen mit wenigen reversibel aufgebauten Konstruktionsschichten (Dach, Träger, Wand) erhöht die Kreislauffähigkeit von Hallentragwerken.



Abbildung 5: Beispielhafter, kreislaueffektiver Sporthallenentwurf (28 m Spannweite, 1,50 m Trägerabstand und lichte Raumhöhe von 7 m) mit standardisierten I-profilierten Buchenholzhybridträgern auf Stützen [12]. (Visualisierung: t-lab / Nicolai Becker Images, Stuttgart)

Standardisierung von einfeldrigen Vollwandträger mit der Forderung nach Reversibilität und Wiederverwendbarkeit entsteht durch Elementierung der Trägerform, der angrenzenden Bauteile von Dach, Stütze und Wand sowie der Verbindungstechnik zwischen den Bauelementen. Ist der Vollwandträger aus verschiedenen Holzwerkstoffen, wie BSP, BSH oder Furnierschichtholz (FSH) zusammengesetzt, ist für den daraus entstehenden Holzhybridträger die «Sortenreinheit» auch als verklebter Verbundträger gegeben. Gleichzeitig sind breite Gurte der I-profilierten Träger sinnvoll, um über reversible Verbindungen zwischen Hauptträger und Dach bzw. Hauptträger und Stützen, die für sich getrennt elementiert und standardisiert herstellbar sind, eine zerstörungsfreie Rückbaubarkeit zur Wiederverwendung zu garantieren (Abb. 6 und Abb. 7).



Abbildung 6: KP-Konusdübel, Einschraubmuffe, Zylinderkopfschrauben und Unterlegscheiben zur Auflagerfixierung des gabelgelagerten I-profilierten Trägers nach Abb. 7. (Foto: t-lab)

Konusdübel aus Kunstharzpressholz (KP) eignen sich als reversible Verbindungen zur Lagefixierung von Trägern auf Stützen (Abb. 6) und alternativ zu KP-Scheibendübel auch zur Montage der großformatigen Dachplatten aus BSP auf den Trägern großer Spannweite von Hallentragwerken (Abb. 5). KP ist ein unter hoher Temperatur stark verdichtetes Buchen-Furnierschichtholz, imprägniert und verfestigt mit Phenolharz. Die Festigkeiten sowie die Dehnsteifigkeit sind aufgrund der Faserverdichtung höher als bei unverdichtetem Buchen-Furnierschichtholz (BauBuche) und damit auch viel höher als bei Nadelholz.

KP ist dauerhaft, formstabil und hoch tragfähig (Querdruckfestigkeiten je nach Verdichtungsgrad wie Stahl) und damit als reversible Verbindung geeignet. Die Konusform erlaubt Bauteilgenauigkeiten auszugleichen. Zudem verhindert die Konusform das Ablösen der zu verbindenden Bauelemente.

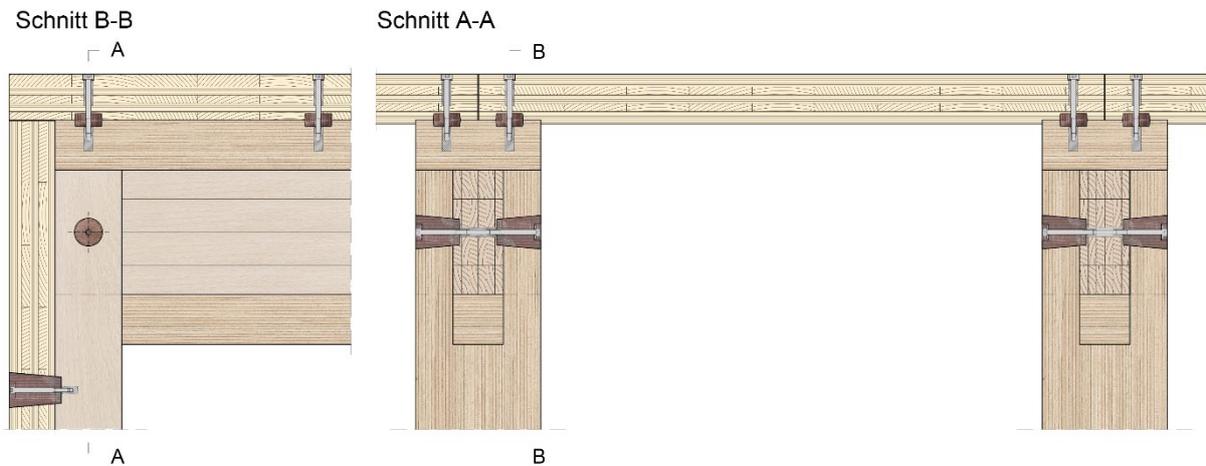


Abbildung 7: Deckentragwerk mit reversibler Dach- und Wandkonstruktion und reversibler Gabellagerung I-profilierter Träger auf Stützen. Ansicht links; Schnitt rechts [13].

Die Umsetzung dieser Innovationen in den Maßstab 1:1 sowie die Verifizierung reversibler Verbindungen und Konstruktionen gelingen nur in gut ausgestatteten Reallaboren. Wir, die wir die Bauwende im Blick haben, fordern daher von der Politik eine flächendeckende Einrichtung von Reallaboren an unseren Universitäten.

## 2. t-lab Campus Diemerstein

Der «t-lab Campus Diemerstein» der RPTU liegt mitten im Pfälzer Wald in der Nähe von Kaiserslautern. Er soll, auch weit über die Holzbauforschung des «t-lab Holzarchitektur und Holzwerkstoffe» hinaus, mittelfristig die Keimzelle für die kreislaueffektive Bauforschung in Rheinland-Pfalz sein mit nationaler und internationaler Strahlkraft und damit hoher Anziehungskraft für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Schwerpunkt ist das effiziente, konsistente und suffiziente Bauen. Forschungen zu reversiblen, standardisierten und elementierten Holzwerkstoffen spielen eine übergeordnete Rolle im Forschungsschwerpunkt t-lab. Die Ressourceneffektivität steht im Vordergrund. Die einzelnen Forschungs- und Research-Design-Build-Projekte sind unter «[www.architektur.uni-kl.de/tlab](http://www.architektur.uni-kl.de/tlab)» einzusehen. Das erste Bauwerk, die Werk- und Forschungshalle (Abb. 8) bildet den Auftakt des Campus.



Abbildung 8: Auftaktgebäude des t-lab Campus Diemerstein: Werk- und Forschungshalle.

### 3. Werk- und Forschungshalle Diemerstein

Die Werk- und Forschungshalle ist zu 100% rückbaubar und kreislaueffektiv geplant (Abb. 8 und Abb. 9). Die Umsetzung erfolgt unter anderem mit Studierenden als Research-Design-Build-Projekt. Das rund 360 qm große Gebäude bietet im Innenraum eine flexibel nutzbare Fläche, die auch für Workshops, Seminare und Veranstaltungen genutzt werden kann. Die Elemente des Tragwerks, der Hülle und des technischen Ausbaus bleiben ablesbar.



Abbildung 9: Innenansicht Auftaktgebäude des t-lab Campus Diemerstein: Werk- und Forschungshalle.

Die Werk- und Forschungshalle ist 12,5 m breit, 27,5 m lang, 7 m hoch bei ca. 4 m Traufhöhe. Das Tragwerk besteht aus zwei Giebelwänden und 10 Dreigelenkrahmen aus Buchen-Furnierschichtholz (BauBuche GL 75) und Kunstharzpressholz (KP) im Abstand von 2,50 m. Die 12,5 m weit spannenden Dreigelenkrahmen werden durch die vertikalen

und horizontalen Lasten aus dem Dach- und Wandtragwerk beansprucht und übernehmen auch die Queraussteifung der Halle. Das Dach- und Wandtragwerk besteht nach dem Prinzip des einfachen Bauens aus einschichtigen Dach- und Wandplatten aus Brettsperrholz (BSP), die 2,50 m zwischen den Dreigelenkrahmen von Fußkante bis Traufkante und von Traufkante bis Firstkante spannen. Die BSP-Platten dienen auch der Längsaussteifung.

Die Gebäudehülle als Ganzes besteht aus vorgefertigten dreischichtigen Bauelementen: Weichfaserplatte, Konterlattung, Douglasienfassade (sägerau – Abb. 10) – mit 2,50 m Breite zwischen den Dreigelenkrahmen. Diese vorgefertigten Elemente werden reversibel auf den BSP-Platten befestigt.



Abbildung 10: Werk- und Forschungshalle: Douglasienfassade, in 1,25 m Elementen vorgefertigt.

Im Bereich der aufgeständerten Bodenplatte und der Fundamente wird auf Stahlbeton verzichtet, indem historisch bekannte Kriechkellerkonstruktionen als Vorbild dienen (Abb. 11). Das Bauwerk schließt nach unten mit einer selbsttragenden 160 mm starken BSP-Bodenplatte ab, die im Rasterabstand von 2,50 m auf HEA-Trägern aufliegt. Bodenplatte und Rahmentragwerk werden auf Mikropfählen rückbaubar gegründet.



Abbildung 11: Detailmodell Werk- und Forschungshalle: Kriechkellerkonstruktion.  
Quelle: t-lab

Die konstruktiven Besonderheiten der reversiblen Bauteilanschlüsse fußt auf diversen Forschungsergebnissen des t-lab. Für das Primärtragwerk kommen erstmals hocheffiziente Ringknoten aus Kunstharzpressholz (KP) zum Einsatz (Abb. 12). Die bauliche Umsetzung wird mit ausgesuchten Firmen für das Haupttragwerk durchgeführt, da die Forderung der Reversibilität wesentlich höhere Anforderungen an die Bauteilgenauigkeiten der Verbindungen stellt als normativ gefordert.



Abbildung 12: Traufknoten aus Kunstharpreschholz (KP).  
Quelle: DEUTSCHE HOLZVEREDELUNG Schmeing GmbH & Co. KG

Der Dreigelenkrahmen selbst besteht aus BauBuche-Stäben und KP-Knoten, die komplett in ihre Einzelteile sortenrein zerlegbar sind (Abb. 11 und Abb. 13). Die Rahmenecken am Trauf sind fachwerkartig aufgelöst – Druckstäbe innen zum Raum hin, Zugstäbe außen entlang von Wand und Dach. Der Diagonalstab ist druckbeansprucht. Alle Druckstäbe sind 160 mm breit und 200 mm hoch. Alle Zugstäbe, die durch die Schnee- und Windbeanspruchungen auch querkraft- und biegebeansprucht sind, sind 160 mm breit und 300 mm hoch. Die Verschneidung der Druck- mit den Zugstäben erfolgt über Treppenversätze [14]. Die Wand- und Dachelemente werden auch hier durch Konusdübel aus KP mit den Dreigelenkrahmen formschlüssig und damit ebenfalls reversibel verbunden (vergl. Abb. 6). Da die Konusdübel universell zwischen beliebigen Bauelementen einsetzbar sind, werden sie Konusadapter genannt. Zur Lagesicherung werden rein auf Zug beanspruchte Zylinderkopfschrauben verwendet, die in Gewindemuffen und nicht direkt ins Holz eingedreht werden, um sicherzustellen, dass die Rückbaubarkeit auch nach Jahrzehnten gewährleistet ist.



Abbildung 13: Werk- und Forschungshalle: Bauphase – Reversible Verbindungen aller Bauelemente mit formschlüssigen Verbindungen, z. B. mit Konusadaptern

Sämtliche Knoten: Fußpunkt, Traufknoten und Firstknoten sind kraft- und formschlüssig miteinander verbunden. Jeweils zwei Gewindestangen M16 GK 8.8 werden gegen die Innenwand der KP-Knoten und die in den BauBuche-Stäben eingelassenen Quadratbolzen (50 mm/50 mm) vorgespannt. Die Quadratbolzen liegen 300 mm von der Kontaktfläche der beiden Materialien entfernt. In den Kontaktflächen werden zur Übertragung der Querkräfte und zur Knotenversteifung formschlüssige Anschlüsse vorgesehen (Abb. 13).

Dass die Anforderung der Reversibilität nicht als Restriktion der Gestaltungsfreiheit verstanden werden darf, wurde im Konstruktionsentwurf zum Ausdruck gebracht. Ästhetik und Umweltschutz sind per se keine Widersprüche.

## 4. Ausblick

Klimapositive Bauweisen, Kreislaufwirtschaft mit geschlossenen Stoffkreisläufen, Effizienz, Konsistenz und Suffizienz sowie Robotik, Künstliche Intelligenz (KI) und digitale Transformation sind nur einige Begriffe, die aufzeigen, wie sich aktuell das Bauwesen in einem Wandel befindet. Der sechste Kondratjew-Zyklus [15] ist im vollen Gange. Wir brauchen jetzt eine Bauwende. Die Wissenschaft muss dafür ein Steuerungselement zu einer klimaneutralen Bauwirtschaft sein. Sinnvoll erscheint, die Effizienzrevolutionen von Ressourcen- und Energieverbrauch neben der Wirtschaft auch der Wissenschaft aufzutragen. Überlassen wir der Bauwirtschaft allein die Entwicklung der Bauwende, wird durch den Einsatz von Digitalisierung und KI ein vorrangig wirtschaftlich geprägter Innovationschub gefördert. Es wäre höchst unwahrscheinlich, wenn dies auch mit einem Maximum an Ressourceneffektivität einherginge. Kreislauffeffiziente, klimarelevante Forschung gehört in Reallaboren umgesetzt und in 1:1 Modellen und Bauwerken demonstriert. Dies setzt aber ein völlig verändertes Förderwesen für die für die Bauwende forschenden Institute und Fachbereiche voraus.

Aus Sicht einer klimarelevanten, ökonomischen und sozialen Bauwende sind unabhängige und ergebnisoffene Forschungen zu intensivieren. Das Förderwesen für die Hochschulen durch die Länder und den Bund sind dazu grundlegend und sofort zu erneuern, indem auf monetärer Basis Personal, Räumlichkeiten und Ausstattung deutlich aufgestockt und interdisziplinäre Forschungsumfelder unbürokratisch geschaffen werden. Geschieht dies nicht, werden klimarelevante Innovationen und Technologien der Bauwirtschaft weitestgehend unterbleiben – das Fortschreiten der Klimakrise gefestigt. Dies wäre nicht weniger als ein Versagen der Politik.

## 5. Literaturverzeichnis

- [1] Weizsäcker, E. U. ; Hargroves, K. ; Smith, M. H. (2010) Faktor Fünf – Die Formel für nachhaltiges Wachstum. Droemer Verlag, München
- [2] Figueres, C. et al. (2017) Three years to safeguard our climate. In: Nature 546, 593–595 (29 June 2017) doi:10.1038/546593a
- [3] BAUWENDE 2030 – Ein Appell. Initiatoren: Graf, J.; Winter, S.; Birk, S. (15.07.2021)
- [4] Graf, J.; Birk, S.; Poteschkin, V.; Braun, Y. (2022) Kreislaueffektive Bauwende – Auf dem Weg zu einer neuen Tektonik. Bautechnik. (doi.org/10.1002/bate.202100111)
- [5] Watson, N. (2020) Lean design: 10 things to do now. [Hrsg] Institution of Structural Engineers. Abgerufen am 04.07.2022 unter thestructuralengineer.org
- [6] Hillebrandt, A. et al. (2018) Atlas Recycling – Gebäude als Materialressource. 1. Aufl. München: Detail Business Information GmbH
- [7] Heisel, F.; Hebel D. E. [Hrsg] Urban Mining und kreislaufgerechtes Bauen – Die Stadt als Rohstofflager. Fraunhofer IRB Verlag
- [8] Kaufmann, H.; Krötsch, S.; Winter, S. (2017) Atlas Mehrgeschossiger Holzbau. München: Detail Business Information GmbH.
- [9] Fischer, O.; Lang, W.; Winter, S. (2019) Hybridbau – Holzaußenwände. 1. Aufl. Detail Business Information GmbH
- [10] Graf, J. (2020) Entflechtung von Wachstum und Ressourcenverbrauch – Zirkuläre Wertschöpfung im Holzbau. Bautechnik 97, Sonderheft Holzbau, Ausgabe 2, S. 108-115 (Graf, J.; Shi, W.; Birk, S. (2022) Kreislaueffektives Potential von Holz im Hallenbau. In: Bautechnik 99, Sonderheft Holzbau, Ausgabe 1, S. 2-12 (doi.org/10.1002/bate.202000078)
- [11] Graf, J. et al. (2019) Potentiale der Verwendung von Brettsperholz-Produktionsabfällen zur Herstellung von Bauteilen im Holzbau – Recycling von Brettsperholz-Produktionsabfällen. Forschungsbericht, Forschungsinitiative ZukunftBAU. Fraunhofer IRB, F 3204.
- [12] Graf, J.; Birk, S.; Klopfer, R.; Shi, W. et al. (2022) Standardisierte Buchenholz-Hybridträger großer Spannweite – Stoffsteigerungspotential von Produktspeicher und stofflicher Substitution durch Buchenholzprodukte niedriger Holzqualität. Forschungsbericht, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Förderkennzeichen 22008717
- [13] Graf, J.; Shi, W.; Birk, S. (2022) Kreislaueffektives Potential von Holz im Hallenbau. In: Bautechnik 99, Sonderheft Holzbau, Ausgabe 1, S. 2-12 (doi.org/10.1002/bate.202100105)
- [14] Enders-Comberg, M.; Blaß, H. J. (2014) Treppenversatz – Leistungsfähiger Kontaktanschluss für Druckstäbe. In: Bauingenieur 89, H. 4, S. 162-171.
- [15] Kondratjew, N. D. (1926) Die langen Wellen der Konjunktur. In: Archiv für Sozialwissenschaft und Sozialpolitik. Band 56, S. 573–609