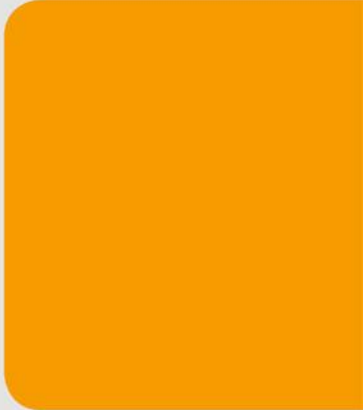
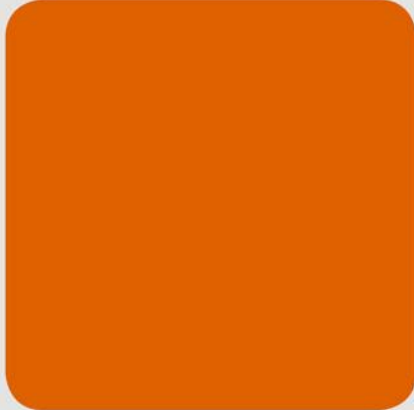
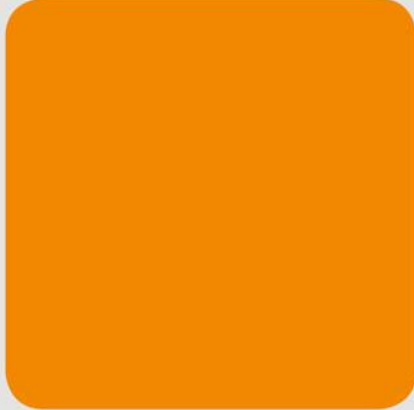
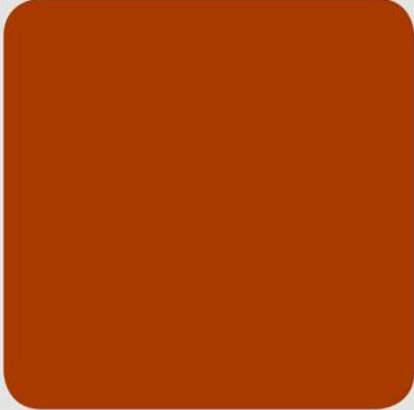




Optionen für das Post-Consumer-
Recycling und die Aufarbeitung
von HPL



Vorwort

Hochdrucklaminat (HPL) gemäß EN 438 wird seit vielen Jahrzehnten im Bau- und Möbelbereich verwendet. Die Europäische Norm EN 438 definiert Material, Anforderungen und Eigenschaften von HPL.

HPL ist ein duroplastischer Verbundwerkstoff auf der Basis von Harzen und Papieren und verfügt über eine einzigartige Oberfläche: extrem robust, widerstandsfähig, modern und sehr dekorativ. HPL ist ein allgegenwärtiger Bestandteil des täglichen Lebens und wird selbsttragend oder im Verbund mit Trägerwerkstoffen eingesetzt. Die Einsatz- und Verwendungsbereiche von HPL sind sehr vielfältig und entwickeln sich stetig weiter. Das macht ein Wissensmanagement erforderlich, welches in Form der Anwendungstechnischen Merkblätter regelmäßig aktualisierte Informationen und Hilfestellungen zu verschiedenen Anwendungen und Verarbeitungen gibt.

Das vorliegende technische Merkblatt befasst sich erstmals mit der Frage, wie HPL recycelt und aufbereitet werden kann. Die Fachgruppe proHPL bedankt sich bei den beiden Autoren Dr. Arne Schirp und Dr. Steven Eschig, Fraunhofer-Institut für Holzforschung (WKI), Braunschweig, für die wissenschaftliche Ausarbeitung.

Wichtiger Hinweis:

Diese Ausarbeitung dient lediglich Informationszwecken. Die in dieser Ausarbeitung enthaltenen Informationen wurden nach dem derzeitigen Kenntnisstand und nach bestem Wissen und Gewissen zusammengestellt. Die Autoren und pro-K übernehmen jedoch keine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit der Informationen. Jeder Lesende muss sich daher selbst vergewissern, ob die Informationen für die eigenen Zwecke zutreffend und geeignet sind.

Stand: Juni 2023

Fachgruppe proHPL

proHPL ist eine Fachgruppe des pro-K Industrieverbandes langlebige Kunststoffprodukte und Mehrwegsystem aus Kunststoff e.V., Mainzer Landstraße 55, D-60329 Frankfurt am Main;

Tel.: 069 – 40 89 555 40, E-Mail: info@pro-kunststoff.de; www.pro-hpl.org



1. Zielsetzung

Umweltverträglichkeit ist eines der Top-Themen unserer Zeit. Das gilt auch für den duroplastischen Werkstoff HPL, der überwiegend im Möbel-, Bau- und Konstruktionsbereich eingesetzt wird. HPL wird unterschieden in HPL und HPL-Compact, beides enthält etwa 70 Prozent Zellulose (Kraftpapiere) und 30 Prozent Harz (Phenol, Melamin), und HPL-Elementen, die aus einem Träger (z. B. Span- oder Faserplatten) und HPL-Deckschichten bestehen.

Die Hauptvorteile von HPL sind seine extreme Haltbarkeit und lange Lebensdauer. Je nach Anwendung (Innenbereich vs. Außenbereich, HPL-Compact vs. HPL-Elemente usw.) halten die Produkte im Einsatz 30 bis 50 Jahre. Das bedeutet, dass der Kohlenstoffgehalt im Material im Vergleich zu vielen anderen Produkten im Möbel- und Bausektor relativ lange gespeichert wird. Oft wird HPL nur aufgrund des Aussehens ersetzt, z. B. wenn die Farbe nicht mehr gefällt, die technischen Anforderungen aber noch erfüllt werden.

Der europäische Verband der HPL-Hersteller, das International Committee of the Decorative Laminates Industry (ICDLI), hat 2012 zum ersten Mal eine Umweltproduktdeklaration (EPD) für HPL veröffentlicht. Die EPD enthält wichtige Informationen über die ökologischen Produkteigenschaften von HPL nach EN 438 Teil 3 (HPL, Dicke < 2 mm) und Teil 4 (HPL-Compact, Dicke \geq 2 mm) mit einer Dichte von mindestens 1.350 kg/m³. Dies ist besonders für die Endverbraucher von HPL wie Architekten und Bauingenieure von großem Nutzen.

Die bei der Herstellung von HPL verwendeten Harze ergeben zusammen mit den Papieren einen duroplastischen Werkstoff. Für einige duroplastische Verbundwerkstoffe gibt es chemische Recyclingverfahren, bei denen die Polymere depolymerisiert werden und wiederverwendet werden können. Nach unserem Kenntnisstand kann dieser Ansatz jedoch nicht auf HPL angewandt werden, da die derzeit verwendeten Harze dauerhaft mit den Papieren vernetzt sind.

Gegenwärtig werden HPL-Reste in zugelassenen industriellen Verbrennungsanlagen zur Energiegewinnung ("thermische Verwertung") genutzt. In einigen europäischen Ländern werden HPL-Reste nach wie vor auf Deponien abgelagert, was die am wenigsten umweltfreundliche Option ist, da sich das Material unter solchen Bedingungen nicht zersetzt.

HPL-Elemente, die nach dem Verbrauch anfallen, können zu Spanplatten recycelt werden, was bereits praktiziert wird. Der Vorteil ist, dass keine Trennung von Trägermaterial (z. B. Spanplatten) und HPL-Deckschicht erforderlich ist. Die kompletten HPL-Elemente können auf eine geeignete Korngröße für die Wiederverwendung bei der Verarbeitung von Spanplatten gemahlen werden.

Es gibt in der Tat einige vielversprechende End-of-Life-Recyclingoptionen für HPL, wie in der folgenden Abbildung 1 dargestellt. Wie bereits erwähnt, ist HPL am Ende seiner Nutzungsdauer in der Regel 30 Jahre oder länger im Einsatz gewesen. Wird das Material dann gemahlen und z. B. in zementgebundenen Spanplatten, Gipskartonplatten oder thermoplastischen Polymerverbundwerkstoffen wiederverwendet, kann theoretisch mit einer Gesamtlebensdauer von bis zu 100 Jahren gerechnet werden.

In manchen Fällen ist das Zerkleinern von Alt-HPL nicht einmal die beste Wahl, wenn das Material noch funktionstüchtig ist. Eine Aufarbeitung, d. h. das Aufbringen einer neuen Folie oder eines neuen Laminats, könnte die bessere Option sein.

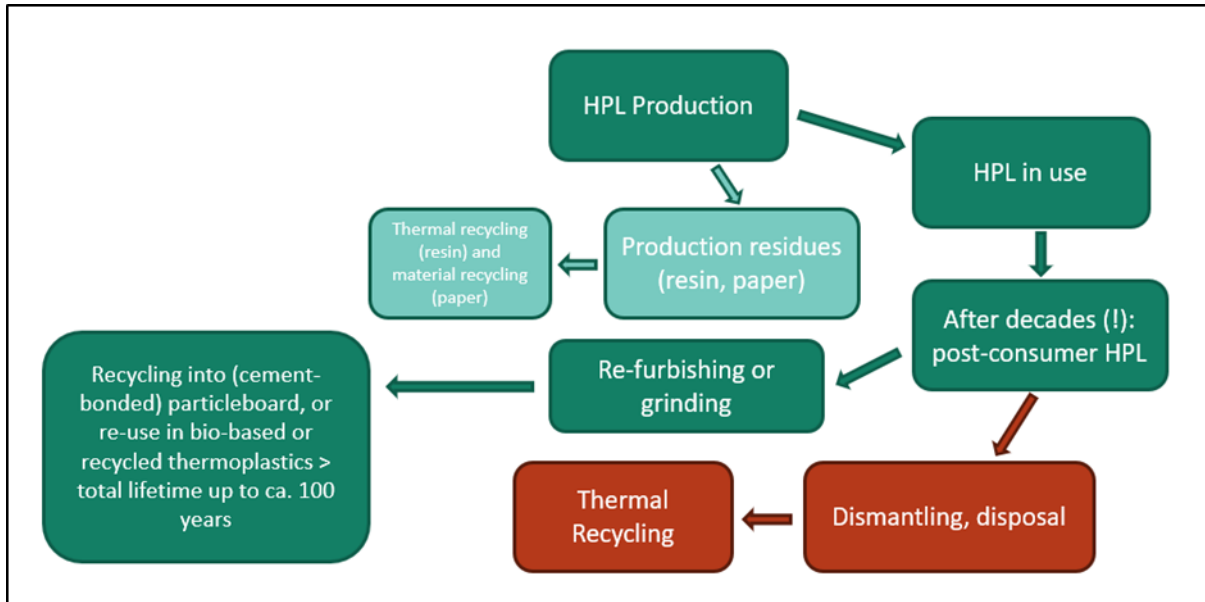


Abbildung 1: Post-Consumer-Recycling von HPL: Status quo und Ausblick.

2. Recycling

Im Einzelnen sehen wir folgende Optionen für das Post-Consumer-Recycling (PCR):

a. HPL-Compact in Innenanwendungen

HPL-Compact in Innenanwendungen (z.B. Wandmaterialien, Möbelkomponenten, Trennwände in Bädern und Umkleideräumen):

- Bewertung der Möglichkeiten und der technischen Machbarkeit der Zerkleinerung von HPL in kleine Fragmente (hoher Energieaufwand)
- Wiederverwendung von HPL-Partikeln in Spanplatten, thermoplastischen Verbundwerkstoffen oder Bodenbelägen (für Häuser, Straßen usw.)
- Bestimmung der maximal möglichen Menge an duroplastischen Komponenten in neuen Anwendungen
- Zementgebundene Spanplatten, die zu etwa 70 Prozent aus Portlandzement und zu 23 Prozent aus Holzspänen bestehen, sind von besonderem Interesse, da sie im Vergleich zu normalen Spanplatten einen höheren Anteil an HPL-Rezyklat enthalten können.
- Zugabe von frischem duroplastischem Klebstoff (Spanplatten) oder frischen thermoplastischen Polymeren (z. B. Polypropylen, Polyethylen) zur Erfüllung der Anforderungen
- Bei thermoplastischen Kunststoffen sollte die Verwendung von biobasierten oder recycelten Kunststoffen in Betracht gezogen werden, um den biobasierten Anteil zu erhöhen oder ein Produkt zu schaffen, das zu 100 Prozent aus Rezyklat besteht.

b. HPL-Compact im Außenbereich

HPL-Kompaktplatten für Außenanwendungen (z. B. Fassaden):

- Da Fassadenplatten aus HPL typischerweise große Abmessungen haben, können sie bei Verwendung mechanischer Befestigungen von ihrer Unterkonstruktion demontiert, gereinigt, gebürstet und mit neuen Laminaten oder Folien beschichtet werden.
- Wenn Teile der Fassadenplatten beschädigt sind, könnten kleinere Fragmente abgeschnitten und in neuen Anwendungen wiederverwendet werden.
- Diese End-of-Life-Optionen entsprechen einer Sanierung: HPL würde nach der Sanierung ein "zweites Leben" erhalten.
- Wenn eine Sanierung nicht möglich ist, könnten demontierte HPL-Fassaden geschliffen werden; die Fräsreste könnten in (zementgebundenen) Spanplatten, Gipsplatten oder thermoplastischen Profilen wiederverwendet werden.

c. HPL-Elemente

HPL-Elemente (meist für den Innenausbau, z. B. Möbel):

- Wie bei HPL-Kompaktplatten kann das Schleifen der kompletten Elemente ohne Trennung von HPL und Holzsubstrat erfolgen; diese Option wird in der Industrie bereits zur Herstellung neuer Spanplatten genutzt.
- Eine höhere Wertschöpfung kann durch die Trennung von Span-, Faser- oder Sperrholzsubstraten und HPL erzielt werden.
- Dies könnte erreicht werden, indem die HPL-Elemente heißem Wasser oder Imprägnierlösungen ausgesetzt werden, wie dies bereits für das Recycling von mit Harnstoff-Formaldehyd-Harzen verleimten Span- und MDF-Platten gezeigt wurde [1].
- Ein solches Verfahren ist möglich, wenn HPL mit Harnstoff-Formaldehyd- oder PVAc-Harzen, die in solchen Prozessen leicht hydrolysiert werden können, auf die Holzwerkstoffe geklebt werden.
- Nach der Trennung von Holzpartikeln/-fasern und HPL könnten die Holzreste möglicherweise in Holzwerkstoffplatten oder thermoplastischen Profilen wiederverwendet werden.
- Alternativ könnten sie in einer Bioraffinerie verwendet werden, um biobasierte Plattformchemikalien zu erzeugen, wie in Abbildung 2 dargestellt.

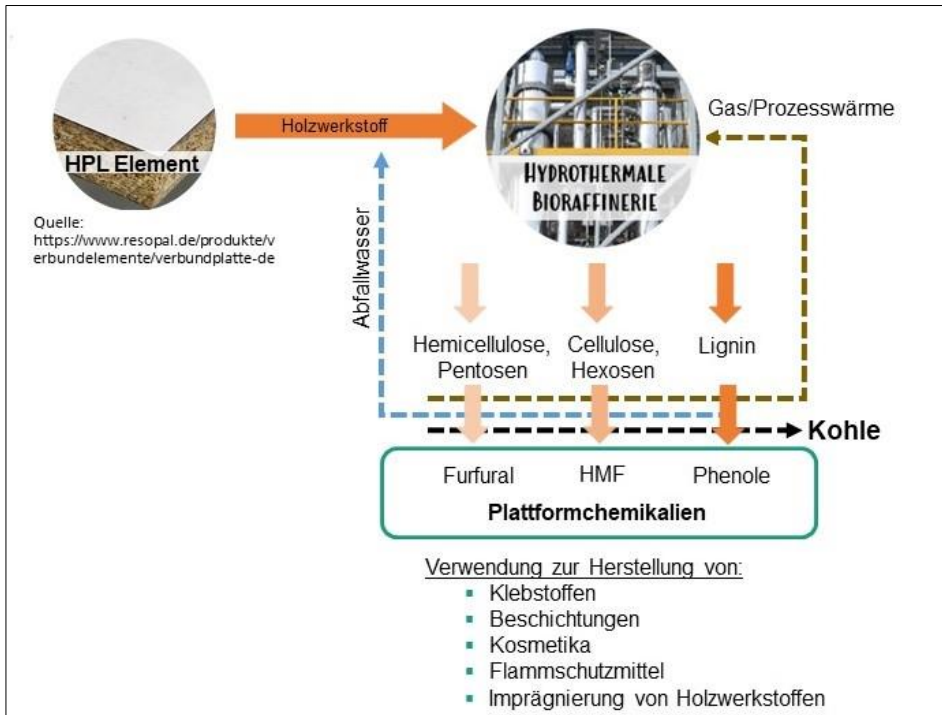


Abbildung 2: Bioraffinerie-Ansatz für das Recycling von holzbasierten Substraten in HPL-Elementen: Verwendung von Plattformchemikalien aus Holz (Furfural, Hydroxymethylfurfural, Lignin) zur Synthese von z. B. formaldehydfreien Klebstoffen für die Holzwerkstoffindustrie.

Die Verlängerung der Lebensdauer von HPL durch die Wiederverwendung des Materials in neuen Produkten wie zementgebundenen Spanplatten oder Gipskartonplatten, die ebenfalls sehr haltbar sind, wird zu Umweltvorteilen führen, die im Rahmen einer Lebenszyklusanalyse (LCA) quantifiziert werden können.

Darüber hinaus kann die CO₂-Bilanz von HPL verbessert werden, wenn die verwendeten Harze durch biobasierte Ersatzstoffe mit Komponenten wie Lignin, Furfural und Tannin ersetzt werden [2]. Lignin-, Humin- und Hydroxymethylfurfural-basierte Kondensationsharze wurden in einem aktuellen Projekt am Fraunhofer WKI für Holzwerkstoffe entwickelt [3]. Ein großer Vorteil ist, dass diese Klebstoffe formaldehydfrei sind.

Durch die Verwendung von erneuerbarem Kohlenstoff können zudem die Kohlendioxid-Emissionen reduziert werden. Lösungen hierzu sind dringend erforderlich, wie aktuelle Zahlen zeigen: Im Jahr 2019 stiegen die Emissionen auf einen Rekordwert von 55 Gt CO₂e, verglichen mit 50 Gt CO₂e im Jahr 2018 [4]. Um den Temperaturanstieg auf 1,5 °C im Jahr 2030 zu begrenzen, müssen diese Emissionen jedoch auf maximal 24 Gt CO₂e pro Jahr reduziert werden [4]. Weltweit müssten ein Drittel der Ölreserven, die Hälfte der Gasreserven und über 80 Prozent der derzeitigen Kohlereserven von 2010 bis 2050 ungenutzt bleiben, um das Ziel von 2 °C zu erreichen [5]. Die einzige Möglichkeit, aus fossilen Kohlenstoffquellen auszusteigen, besteht darin, auf erneuerbaren Kohlenstoff aus CO₂, Biomasse oder Recyclingströmen umzusteigen.

Klebstoffe können auch so gestaltet werden, dass sie das Recycling erleichtern. Dieser Ansatz wurde bei zementgebundenen Holzwerkstoffplatten für den Holztafelbau angewendet [6]. Hier wurden Polyurethan-Klebstoffe entwickelt, deren Klebewirkung temperaturgesteuert ein- und ausgeschaltet werden kann. Unterhalb von 60 °C wird der Klebstoff vernetzt, oberhalb von 120 °C lösen sich die chemischen Funktionsbindungen auf und der Klebstoff schmilzt. Dieser Vorgang kann mehrmals wiederholt werden ("bonding and de-bonding on demand").

Eine wichtige Voraussetzung für ein effizientes End-of-Life-Recycling von HPL ist, dass die Materialien gesammelt, identifiziert und sortiert werden. Es ist davon auszugehen, dass der größte Teil der HPL-Abfälle in Form von Sperrmüll gesammelt wird. In Deutschland fallen jährlich mehr als zwei Millionen Tonnen Sperrmüll an [7]. Je nach regionalem Entsorgungskonzept bestehen davon bis zu 50 Prozent aus Holz, überwiegend aus Altmöbeln, darunter vermutlich ein erheblicher Anteil an HPL. Da HPL zu einem hohen Anteil aus Zellulose besteht, kann es in Deutschland der Altholzkategorie A-II zugeordnet werden. Diese umfasst verleimtes, gestrichenes, lackiertes oder anderweitig behandeltes Altholz ohne halogenorganische Verbindungen in der Beschichtung, z.B. PVC, sowie Altholz ohne Holzschutzmittel [8, 9].

Wenn HPL-Abfälle als wertvolle Ressource betrachtet werden, wird man sich bemühen, dieses Material aus den Abfallströmen zu gewinnen, die derzeit in Verbrennungsanlagen landen. HPL, das von verschiedenen Herstellern und in verschiedenen Jahrzehnten produziert wurde, unterscheidet sich natürlich in seiner Zusammensetzung. So können beispielsweise Farben, UV-Schutzmittel und Flammschutzmittel zugesetzt worden sein. Halogenhaltige Chemikalien oder andere umweltgefährdende Stoffe sollten in HPL dagegen nicht erwartet werden.

Es wäre zwar technisch machbar, die Zusammensetzung von Alt-HPL zu analysieren, aber der Aufwand, jede einzelne Platte zu untersuchen, wäre zu hoch. Geschulte Mitarbeitende in Entsorgungsunternehmen können holzhaltige Teile aus vorzerkleinertem Sperrmüll leicht erkennen, sind aber nicht unfehlbar. Kommerziell verfügbare sensorische Sortierverfahren auf der Basis herkömmlicher Farbkameratechnik sind bisher weniger in der Lage, holzhaltige Bestandteile aus stückigen Abfallgemischen zuverlässig zu erkennen. Die vorherige Zerkleinerung des gesamten Sperrmülls ist aufwändig und die Sortierergebnisse bleiben unzureichend. Moderne bildgebende Verfahren generieren zusätzliche Informationen, über die Sortiermitarbeitende nicht verfügen. Mit Hilfe eines "intelligenten" Systems kann Sperrmüll auch ohne vorherige Zerkleinerung genau und ermüdungsfrei sortiert werden [7]. Wenn Sperrmüll in einen wertvollen Rohstoff umgewandelt werden kann, könnten Verbraucher und Verbraucherinnen theoretisch auch einen direkten finanziellen Nutzen daraus ziehen. Es ist zu erwarten, dass Altholz, einschließlich HPL, zunehmend in der Produktion von Hochleistungswerkstoffen eingesetzt werden kann, zum Beispiel in Polymerverbundwerkstoffen oder als Zuschlagstoff in Beton (Kiesersatz).

3. Zusammenfassung und Ausblick

In Tabelle 1 wurden die Optionen für das Recycling von HPL am Ende des Lebenszyklus zusammengefasst. In einem nächsten Schritt wird untersucht, ob diese Recyclingoptionen technisch und wirtschaftlich machbar sind und ob sie die CO₂-Bilanz von HPL verbessern können.

Table 1: Zusammenfassung der Recyclingoptionen für HPL-Compact und HPL-Elemente

Produkt-art	Spanplatte	Zementgebundene Spanplatte, Gipskartonplatte	Wiederaufbereitung ¹	Thermoplastischer Verbundwerkstoff ²	Bodenbeläge (innen, außen) Füllstoff für Asphalt
HPL-Element	+	+		+	
HPL-Compact	+	+	+		+

¹ Bedeutet z. B. das Aufkleben einer Folie oder eines neuen Laminats auf altes HPL (wenn es noch unbeschädigt ist). Unter 2 fallen Biopolymere oder recycelte Polymere; Zwischenprodukt ist ein Verbundstoff; Endprodukte können spritzgegossen oder zu Profilen oder Platten extrudiert werden.

Zusätzlich zu den Bemühungen um das Materialrecycling sollte der Schwerpunkt auf die Erhöhung des biobasierten Anteils von HPL gelegt werden, indem nachhaltig beschaffte Rohstoffe für Harze verwendet werden. Es können auch umschaltbare Harze entwickelt und eingesetzt werden, die auf ein leichteres Recycling ausgelegt sind. Parallel dazu sollten Ökobilanzen durchgeführt werden, um die ökologischen und ökonomischen Vorteile von Materialrecyclingoptionen zu bewerten. Durch die Verfolgung dieser Ziele wird es möglich sein, HPL bei der Auswahl hochwertiger, langlebiger und nachhaltiger Materialien für die Möbel-, Bau- und Konstruktionsbranche an vorderster Front zu halten.

Quellenangaben:References:

- [1] Boehme, C. (2003): Altholz bleibt wichtig für Holzwerkstoffindustrie: Verfahren zum Recycling von Holzwerkstoffen und Forschungsergebnisse aus dem Wilhelm-Klauditz-Institut. Holz-Zentralblatt vom 14.1.2003.
- [2] Abdullah, U. H. et al. (2014): High pressure paper laminates from mimosa tannin resin. International Wood Products Journal 5: 4, p. 224-227.
- [3] https://www.wki.fraunhofer.de/en/research-projects/2020/AdLigno_formaldehyde-free-bio-adhesives-made-from-lignin-sugar-derivatives-and-humins-for-wood-based-panel-production.html (accessed April 25, 2023).
- [4] N.N.: Emissions Gap Report 2018 by the United Nations Environment Programme.
- [5] C. McGlade and P. Ekins (2015): The geographical distribution of fossil fuels unused when limiting global warming to 2 °C; Nature Vol. 517, p. 187 ff.
- [6] https://www.wki.fraunhofer.de/en/research-projects/2020/bonding-on-demand_adhesives-for-the-adhesion-of-cement-bonded-wood-based-panels-for-timber-panel-construction.html (accessed April 25, 2023).

[7] https://www.wki.fraunhofer.de/en/research-projects/2021/ASKIVIT_recovery-of-wood-wood-based-materials-and-non-ferrous-metals-from-bulky-waste-by-means-of-automated-sorting.html (accessed April 25, 2023).

[8] https://www.vku.de/fileadmin/user_upload/Verbandsseite/Themen/Infrastruktur_und_Dienstleistungen/200424_BMU_AltholzV-DE_Diskussion_Entwurf.pdf (accessed April 25, 2023).

[9] <https://altholzverband.de/waste-wood/?lang=en> (accessed April 25, 2023)