

Zeitschrift: Tec21
Herausgeber: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Band: 128 (2002)
Heft: 13: Werkstoffe aufgerollt

Artikel: Ökologische Beurteilung von Holzwerkstoffen
Autor: Richter, Klaus
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-80396>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

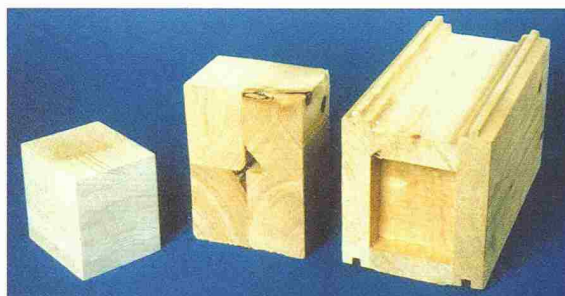
Ökologische Beurteilung von Holzwerkstoffen

Zahlreiche verfahrenstechnische Entwicklungen haben das Einsatzspektrum vieler Holzwerkstoffe verbessert. Dabei wurden auch ökologische Optimierungen realisiert. Ein direkter Vergleich der Umweltauswirkungen von Holzwerkstoffen ist aufgrund der zum Teil sehr unterschiedlichen Herstellungsverfahren und Endprodukte nur beschränkt möglich. Die ganzheitliche Betrachtungsweise in Ökobilanzen weist die Wirkungen der industriellen Produktion sowie der eingesetzten Bindemittel aus, relativiert sie jedoch gleichzeitig in ihren Wirkungen gegenüber Vollholz- beziehungsweise Alternativprodukten.¹

Die optimale Nutzung der verfügbaren Holzvorräte führte bereits Anfang des 20. Jahrhunderts zur Entwicklung der Holzwerkstoffe (HWS). Aufgrund ihrer Eigenschaften finden furnierte, folierte oder anderweitig beschichtete HWS ein breites Einsatzspektrum im Möbel- und Baubereich. Ohne die HWS würde die Holzindustrie in ihrer heutigen Form nicht existieren.

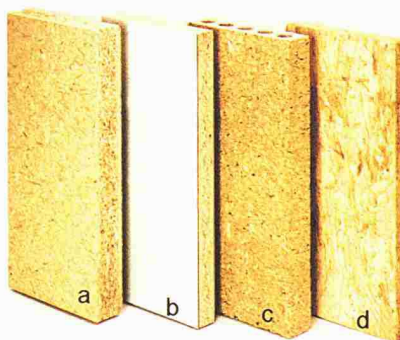
Engineered Wood

Holzwerkstoffe werden durch Zerkleinern, Neuordnen und Zusammenfügen von Holz, in der Regel unter Zugabe eines Bindemittels, hergestellt. Die Palette der HWS reicht von den auf Vollholz aufgebauten Produkten – etwa Massivholzplatten oder Brettschichtholz – über Furnier- und Sperrhölzer zu den klassischen Holzwerkstoffen, den Span- und Faserplatten (siehe Bilder 1 bis 3). Bei Letzteren ist der Zerkleinerungsgrad des Holzes so gross, dass der Vollholzcharakter nicht mehr gegeben ist.



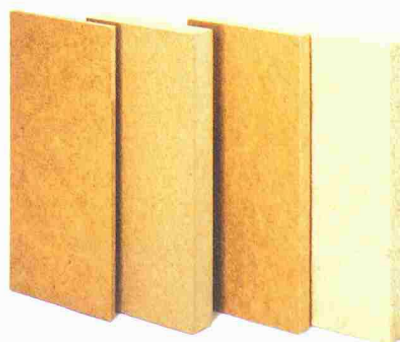
1

Aus Vollholz aufgebaute Holzwerkstoffe: Brettschichtholz; Kreuzbalken; Lignaturbalken (von links nach rechts)



2

Spanplattenwerkstoffe: a) Flachpressplatte; b) Flachpressplatte beschichtet; c) Strangpressplatte mit Ausrichtung der Späne senkrecht zur Oberfläche; d) Spanplatte mit flächigen und lagenweise zur Oberfläche angeordneten Spänen (OSB)



3

Faserplattenwerkstoffe: Hartfaserplatte (ohne Bindemittel), Rohdichte > 850 kg/m³; Mitteldichte Faserplatte (MDF), Rohdichte ca. 600 kg/m³; Weichfaserplatte (ohne Bindemittel), Rohdichte ca. 250 kg/m³; Holzfaserdämmplatte (ohne Bindemittel), Rohdichte ca. 160 kg/m³ (von links nach rechts)

Durch eine gezielte Sortierung der Ausgangsstoffe (Lamellen, Leisten, Furniere, Späne und Fasern), deren technologische Aufbereitung und gesteuerte Anordnung, die Kombination mit unterschiedlichen Bindemitteln sowie Press- und Aushärtetechnologien ist es möglich, sehr spezifische Produkteigenschaften zu erhalten. HWS werden aus diesem Grund auch «Engineered Wood Products» genannt. Deren Leistungsfähigkeit kann mitunter diejenige von Vollholz übertreffen. In folgenden Eigenschaften unterscheiden sich HWS von Vollholzprodukten:

- sehr grosse und variable Abmessungen in Länge und Fläche
- verbesserte Dimensionsstabilität
- geringere Anisotropie in Stab- und Plattenebene
- keine Verformungen und Risse durch Trocknungsspannungen
- geringere Streuung der Festigkeit und der Steifigkeit
- zum Teil erhöhte Festigkeit, da Äste und Inhomogenitäten beim Herstellungsprozess ausgekappt werden.

Holz und Leim

Holz ist bei allen organisch gebundenen HWS mit 85 bis 95 % der dominierende Bestandteil. Es wird als Industrie-Restholz (Verschnittreste der ersten Holzverarbeitungsstufe) sowie als Waldrestholz (anfallende Schwachhölzer bei der Pflege der Wälder) bezogen. Bedeutende Hersteller beziehen zudem bereits FSC-zertifiziertes Holz (Zertifikat des Forest Stewardship Council). Grundsätzlich können in der Span- und Faserplattenindustrie auch Gebrauchthölzer wiederverwertet werden; europaweit sind es bereits bis zu 20 % des jährlichen Gesamtholzeinsatzes. Für die Furnierproduktion als Ausgangsprodukte für Sperr- und Furnierschichthölzer werden keine Reststoffe eingesetzt, denn die Anforderungen an die Holzqualität und Stammform sind hier besonders hoch.

Der zweite Bestandteil der HWS sind die Klebstoffe, die Form und Zusammenhalt der HWS gewährleisten (siehe Bild 4). Sie bestimmen massgeblich das Eigenschaftenprofil der HWS. Mehr als 95 % aller HWS werden mit organischen Klebstoffen abgebunden. Rund 85 % aller Spanplatten, weitgehend alle Mitteldichten Faserplatten (MDF) und 50 % des Sperrholzes sind mit den kostengünstigen, farblosen und reaktiven Harnstoff-Formaldehyd-Harzen (UF) verklebt. Deren Feuchtebeständigkeit ist allerdings gering, sodass sie vor allem für Platten im Möbel- und Innenausbau eingesetzt werden. Feuchtebeständige Verleimungen erhält man durch die Zugabe von Melamin beziehungsweise Phenol (MUPF). Klebstoffe mit noch besserer thermisch-hydrolytischer Beständigkeit sind die Phenol-Resorcin-Formaldehyd-Harze (PRF), die deshalb bei feuchtegefährdeten Bauteilen verwendet werden. Zunehmend an Bedeutung gewinnen Klebstoffe auf Isocyanatbasis (PMDI). Sie werden in der Schweiz häufig als 1K-Polyurethan-Klebstoffe auch für die Herstellung von HWS aus Vollholz eingesetzt und ergeben neutrale, formaldehydfreie Verleimungen von guter Feuchtebeständigkeit.

Bindemittel aus nachwachsenden Rohstoffen, unter anderem pflanzliche Phenole (Tannine), substituieren teilweise synthetische Komponenten. Sie ergeben Verbindungen mit ausreichender Trockenfestigkeit. Durch Zusatz chemisch vernetzender Reagenzien (Formaldehyd oder PMDI) kann auch die Feuchtebeständigkeit verbessert werden. Aus wirtschaftlichen Gründen ist ihr Anteil am Bindemittelmarkt heute aber noch gering.

Gänzlich bindemittelfrei sind die im Nassverfahren hergestellten porösen und harten Faserplatten, bei denen der Zusammenhalt der einzelnen Fasern über thermisch-hydrolytische Aktivierung der holzeigenen Polymere bewirkt wird.

Formaldehyd: Gebannte Risikosubstanz

Hauptverantwortlich für das mässige Image von plattenförmigen HWS ist das Formaldehyd. Verläuft die Reaktion zwischen Harnstoff und Formaldehyd nicht vollständig, verbleiben geringe Reste an freiem Formaldehyd in den Platten, die dann über einen längeren Zeitraum in geringen, aber wahrnehmbaren Dosen emittiert werden. Dies kann bei sensibilisierten Personen Kopfschmerzen, erhöhte Müdigkeit oder andere unspezifische Symptome auslösen. Vor allem in den 70er-Jahren, als HWS-Produkte immer häufiger verwendet und die Gebäudehüllen immer besser abgedichtet wurden, führte dies zu Problemen. Seit Mitte der 80er-Jahre ist die Abgabe von Formaldehyd aus HWS und der daraus gefertigten Produkte gesetzlich beschränkt. In der Schweiz gilt für die Innenraumbelastung ein Richtwert von 0,1 ppm Formaldehyd, entsprechend 0,1 ml Formaldehyd pro m³ Luft. Die Holzindustrie führte aufgrund der neuen Gesetzgebung modifizierte Bindemittel mit reduziertem Anteil dieses Stoffes ein, zum anderen wurden verbesserte Herstellverfahren entwickelt, sodass heute die Formaldehyd-Emission aus HWS-Platten kaum mehr Probleme hervorruft. Das Gütezeichen Lignum CH 6.5 garantiert national den minimalen Formaldehydgehalt in Span- und MDF-Platten, in der EU wird dafür das Signet E1 verwendet. Es besitzen bei weitem nicht alle HWS-Platten ein Formaldehyd-Emissionspotenzial (siehe Bild 4). Auch über die Emissionen von Phenol- und Isocyanat-harzen wurden umfangreiche Studien durchgeführt. Die Analysen ergaben, dass keine gesundheitlich bedenklichen Emissionen (etwa Phenole oder monomeres MDI) abgegeben werden.

Ökobilanzen von Holzwerkstoffen

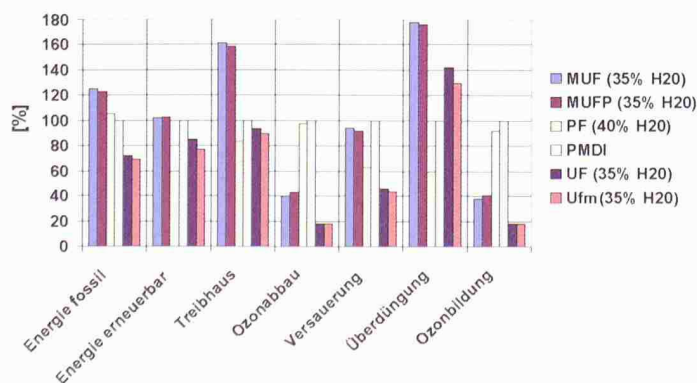
In den letzten Jahren wurden vermehrt Ökobilanzen über HWS erstellt. Sie erlauben, die Umweltwirkungen entlang des Lebensweges von Produkten (von der Rohstoffgewinnung über Produktion und Nutzung bis hin zur Entsorgung) zu erfassen und zu bewerten, um daraus Ansätze zur Prozess- oder Produktoptimierung abzuleiten. Die Vorgehensweise für die Erstellung einer Produktökobilanz, auch Life Cycle Assessment (LCA) genannt, ist in ISO/EN14.040–14.043 genormt. Voraussetzung dafür ist, dass Energie- und Stoffflüsse für die Bereitstellung des Holzes, der Klebstoffe sowie der Herstell- und Entsorgungsprozesse vorliegen.

Klebstoff (Kurzzeichen)	Holzfeuchteklasse			Formaldehydgehalt verklebter Produkte
	12 %	20 %	>20 %	
Harnstoff-Formaldehyd ⁶¹ (UF)	g	bg	ng	vorhanden Lignum CH 6.5, E1 ⁶¹
Melamin-Harnstoff-Formaldehyd ^{2),61} (MUF)	g	g	bg	vorhanden Lignum CH 6.5, E1 ⁶¹
Tannin-Formaldehyd ^{2),61} (TF)	g	g	bg	
Phenol-Formaldehyd ^{1),41} (PF)	g ¹⁾	g ¹⁾	g ¹⁾	gering (<2 mg/100 g HWs)
Resorcin-Formaldehyd ⁴⁾ (RF)	g	g	g	gering (<2 mg/100 g HWs)
Resorcin-Phenol-Formaldehyd ⁴⁾ (RPF)	g	g	g	gering (<2 mg/100 g HWs)
Polymeres Diphenylmethandiisocyanat ⁵⁾ (PMDI)	g	g	g	kein freies Formaldehyd

	UF	MUF	PF
Primärenergieeinsatz fossil (MJ)	72	126	191
Treibhauseffekt (kg CO ₂ -Äquivalent)	3,46	5,99	6
Ozonabbau (kg R11-Äquivalent)	8,7*10 ⁻⁷	1,26*10 ⁻⁶	1,24*10 ⁻⁵
Versauerung (kg SO ₂ -Äquivalent)	0,029	0,058	0,00465
Überdüngung	0,0032	0,0082	0,0021
Ozonbildung (kg C ₂ H ₂ -Äquivalent)	0,0041	0,0072	0,0207
Ecoindicator 95	24,2	37,12	90,2

	Elektrische Energie (kWh/m ³)	Thermische Energie (MJ/m ³)
Spanaufbereitung	36	
Spänetrocknung	31	1713
Beleimung	6	
Verpressung/Zuschnitt	24	657
Schleifen	18	
anderes	16	
Transport	-	16
Total	131	2386

	Spanplatte V20 (trocken)	Spanplatte V100 (feucht)	MDF	OSB PF	OSB PF/PMDI
Treibhauseffekt (kg CO ₂ -Äquivalent)	240	275	540	235	265
% Energiebereitstellung	42	34	64	-	-
% Klebstoffbereitstellung	32	40	25	35	47
% Holzbereitstellung	12	10	5	8	7
% andere Prozesse	14	16	6	57	45
Versauerung (kg SO ₂ -Äquivalent)	1,4	2	2,1	1,7	1,6
% Energiebereitstellung	35	25	45	-	-
% Klebstoffbereitstellung	25	45	30	41	41
% Holzbereitstellung	12	5	10	9	10
% andere Prozesse	28	25	15	50	49
Überdüngung (kg PO ₄ -Äquivalent)	0,2	0,24	0,28	0,21	0,21
% Energiebereitstellung	65	55	40	-	-
% Klebstoffbereitstellung	15	20	40	37	37
% Holzbereitstellung	10	7	10	14	14
% andere Prozesse	10	18	10	49	49
Ozonbildung (kg C ₂ H ₂ -Äquivalent)	0,4	0,45	0,5	0,37	0,4
% Energiebereitstellung	50	45	50	-	-
% Klebstoffbereitstellung	7	25	12	20	30
% Holzbereitstellung	20	15	24	31	28
% andere Prozesse	23	15	14	49	42



4
Synthetische organische Klebstoffe und Bindemittel für Holzwerkstoffe (g geeignet bg beschränkt geeignet; ng nicht geeignet, ¹⁾ nur bei Heissverleimung (110–140 °C) anwenden, ²⁾ Verleimung bei Temperaturen unter 30 °C anstreben, ³⁾ ungeeignet bei höherer relativer Luftfeuchte und gleichzeitiger Temperatur über 50 °C, ⁴⁾ Klebfuge dunkelbraun, ⁵⁾ Klebfuge transparent, ⁶⁾ weniger als 1 m² Oberfläche unbeschichtet pro m³ Rauminhalt verwenden)

5
Energieverbrauch und Umweltbewertung verschiedener Holzklebstoffe

6
Energiebedarf in der Spanplattenproduktion: Rund 80% der Umweltauswirkungen resultieren aus dem Energieverbrauch für die Spänaufbereitung und -trocknung

7
Quantitative Unterschiede in den Umweltwirkungen der verschiedenen Plattentypen. Die Produkte geben die Anteile der Energie-, der Klebstoff- und Holzbereitstellung an den jeweiligen Umweltwirkungen an

8
Vergleich der Umweltwirkungen der Leimflotten pro Volumeneinheit Spanplatten (keine funktionale Äquivalenz). Dargestellt sind die relevanten Wirkungspotenziale bezogen auf den Harzeinsatz; die Balkendiagramme sind auf die Verbrauchsmengen des PMDI-Harzes skaliert

Wirkungsabschätzung in Ökobilanzen

In der Wirkungsabschätzung erfolgt die Beurteilung der Bedeutung potenzieller Umweltwirkungen, die aus den Input- und Outputflüssen der Sachbilanz abgeleitet werden. Dabei können Schadstoffe mit gleichartigen Umweltwirkungen aufgrund wissenschaftlicher Erkenntnisse zu Äquivalenten einer Referenzsubstanz zusammengefasst werden, wie nachfolgend anhand der Umweltwirkungen Treibhauseffekt, Ozonabbau, Versauerung, Überdüngung und Ozonbildung beschrieben. Allgemein gültige Grenzwerte bzw. Richtwerte gibt es keine, jedoch berücksichtigen die Methoden durch Normalisierungen die relative Bedeutung der betrachteten Emissionen. Im Gegensatz zu diesen teilaggregierenden Bewertungsmethoden gibt es neuere Bewertungsansätze, welche die unterschiedlichen Effekte in den einzelnen Umweltkategorien gewichten und zu einer einzelnen Zahl zusammenfassen, wie etwa der Ecoindicator 95.

Treibhauseffekt (Global warming potential)

Indikator für die Veränderung der Absorption der Wärmestrahlung in der Atmosphäre verursacht durch die Emission verschiedener Spurengase wie Kohlendioxid, Methan, Fluorkohlenwasserstoffe etc. (globaler Effekt).

Ozonabbau (Ozon depletion)

Indikator für den Abbau der stratosphärischen Ozonschicht, vor allem durch die Emission von fluorierten Chlorkohlenwasserstoffen (globaler Effekt). Das Potenzial zum Ozonabbau ist definiert als Verhältnis zwischen der Aufspaltung des Ozons im Gleichgewicht zur Jahresemission einer bestimmten Menge einer Substanz in die Atmosphäre und der Aufspaltung des Ozons im Gleichgewicht zur entsprechenden Emission der Referenzsubstanz CFC-11 (Trichlorfluormethan).

Versauerung (Acidification)

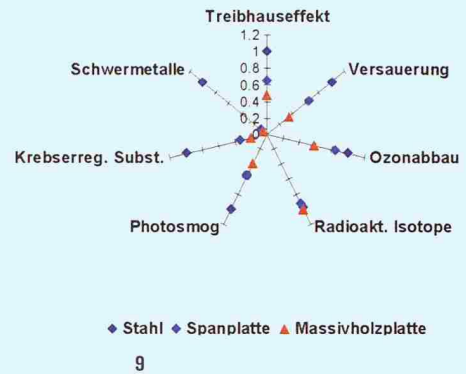
Indikator für die Ablagerung von Substanzen mit versauerndem Potenzial im Boden beziehungsweise im Wasser (lokaler bis regionaler Effekt). Ursachen sind in erster Linie Stickoxid (NO_x) und Schwefeldioxidemissionen (SO₂) aus Verbrennungsprozessen in Industrie, Kraftwerken, Haushalten und im Verkehr. Das Potenzial zur Versauerung ist das Verhältnis zwischen der Anzahl H⁺-Äquivalente per Masseneinheit einer Substanz und der Anzahl der H⁺-Äquivalente per Masseneinheit der Referenzsubstanz SO₂.

Überdüngung, Eutrophierung (Nitrification)

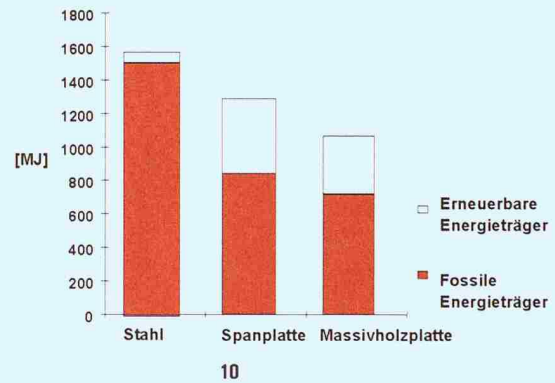
Indikator für die Zunahme von Nährstoffen und deren Anreicherung im Boden beziehungsweise im Wasser (lokaler bis regionaler Effekt). Zu den am stärksten belastenden Nährstoffen gehören: Phosphate, Nitrate und organische Materialien. Das Potenzial Eutrophierung ist definiert als das Verhältnis zwischen dem Potenzial an Biomasse (ausgewiesen als N-Äquivalente) pro emittierte Menge der Substanz und dem Potenzial an Biomasse (ausgewiesen als N-Äquivalente) pro emittierte Menge der Referenzsubstanz Phosphat-Anion PO₄⁻³.

Ozonbildung (Photochemical oxidant formation)

Indikator für die Bildung von Ozon in den unteren Luftschichten, der Troposphäre (regionaler Effekt). Die photochemische Bildung von Oxidantien, auch Sommer-Smog genannt, ist das Resultat einer Reaktion zwischen Stickoxiden und flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) unter dem Einfluss von ultravioletter Strahlung. Das Potenzial zur Ozonbildung einer Substanz ist das Verhältnis zwischen der Änderung der Ozonkonzentration durch die Emission dieser Substanz und der Änderung der Ozonkonzentration durch die Emission der Referenzsubstanz Ethylen.



9
Wirkungspotenziale der drei Türzargen (Stahl, Spanplatte, Massivholzplatte) im Vergleich: Die Umweltwirkungen der Stahlzargen sind höher als diejenigen der Holzzargen



10
Verbrauch energetischer Ressourcen für die Herstellung der untersuchten Zargen: Ökologisch am effizientesten sind Türzargen aus verleimten Massivholzplatten

Die Zahlen einer Umweltbewertung sind aber immer relativ anzusehen; sie können jeweils nur im Rahmen von einzelnen Produkten verglichen und diskutiert werden. Man versucht deshalb Ökozahlen für funktionsäquivalente Produkte herzustellen (siehe Kasten). Gemäss deutschen Studien² resultieren 80% der von der HWS-Produktion ausgehenden Umwelteinwirkungen aus dem Energieverbrauch, vor allem für die Spänaufbereitung, -trocknung und das Pressen (siehe Bild 6). Es wird deutlich, dass die MDF-Platte, entsprechend dem hohen Aufschlussgrad des Holzes, relativ gesehen die höchsten Umweltwirkungen verursacht (siehe Bild 7 sowie Magazin S. 34). Der Hauptansatzpunkt für eine Verbesserung liegt hier in der weiteren Senkung der fossilen Energieverbräuche. Denkbar wäre etwa ein vermehrter Einsatz von Wärme-Kraft-Kopplung.

Was die Klebstoffe betrifft, zeigen sich bei der Bewertung pro Masseneinheit deutliche Unterschiede zwischen den Klebstoffen. Die feuchtebeständigen MUF- und PF-Harze sind umweltbelastender als etwa Weissleime oder UF-Harze (siehe Bild 5). Es ist zu beachten, dass die Klebstoffe jedoch funktional nicht gleich sind, weshalb die Ergebnisse nur beschränkt miteinander verglichen werden können. Bezogen auf den Klebstoffeinsatz pro m³ HWS-Platte können zudem die Verhältnisse ändern, weil die Input-Mengen und Rezepturen der Leimflotten unterschiedlich sind. Hauptansatzpunkt für eine ökologische Verbesserung sollte deshalb in einer ökonomisch-ökologischen Verwendung der Klebstoffe bestehen.

Materialübergreifende Ökobilanzen

In einer materialübergreifenden Produktökobilanz³ wurden Tüorzargen aus verleimten Massivholzplatten, Spanplatten und Stahl auf ihre Umweltrelevanz untersucht. Die Umweltwirkungen der Stahlzarge sind mit einer Ausnahme höher bis deutlich höher als diejenigen der Holzzargen (siehe Bild 9). Trotz eines Anteils von 20% Recyclingstahl erweisen sich die Stahlgewinnung und Verarbeitung zu verzinkten Blechen als ökologisch relevanteste Prozesse. Die Umweltwirkungen der HWS-Zarge liegen etwas höher als diejenigen der Massivholz-Zarge. Die Ursachen hierfür sind die Emissionen aus der Abfallverbrennung bei der Spanplattenfertigung, der höhere Strombedarf, die Beiträge aus der Klebstoffproduktion sowie die kürzere mittlere Funktionsdauer. Die erkannte ökologische Rangfolge bestätigt sich beim Verbrauch von energetischen Ressourcen (siehe Bild 10). Es ist ersichtlich, dass beide Holzzargen rund ein Drittel des Energiebedarfs mit erneuerbaren Energieträgern decken.

Entsorgung und Recycling

Bei der Umsetzung ganzheitlicher Betrachtungen zur ökologischen Produktgestaltung rücken die End-of-Life-Prozesse vermehrt ins Blickfeld. Organisch gebundene HWS können prinzipiell nach Gebrauch energetisch oder stofflich verwertet werden. Gemäss Luftreinhalteverordnung zählen gebrauchte HWS als Altholz und dürfen in Altholzfeuerungen (gemäss LRV Anh. 2 Ziff. 72) sowie in der Kehrlichtverbrennungs-

anlage beziehungsweise in Zementwerken energetisch verwertet werden. Bei der Verbrennung haben stickstofforganische Bindemittel (UF, MUF, PMDI) einen merklichen Einfluss auf die Stickoxidemissionen, die alkalihaltigen Phenolharze auf die Ausbrandqualität. Der Ersatz chlorhaltiger Härter durch chlorfreie Systeme reduziert die Gefahr der Dioxinbildung bei der Verbrennung von PF-gebundenen Holzwerkstoffen drastisch.

Span- und Faserplatten, die mit hydrolysierbaren UF-Harzen gebunden sind, können aufgrund neuer Entwicklungen aber auch stofflich verwertet werden. Dazu wurden mechanisch-thermochemische Aufschlussverfahren entwickelt. Obwohl die mechanischen Eigenschaften von Platten aus Recyclingspänen denen von Platten aus naturbelassenem Holz entsprechen, zeigen Ökobilanzen⁴, dass eine energetische Verwertung von Altholz (das heisst Verbrennung zur Wärme- beziehungsweise Stromgewinnung) den stofflichen Aufschlussverfahren unter den derzeitigen Bedingungen in Europa überlegen ist. Eine weitere, mengenmässig beschränkte Verwertung ist die Kompostierung, bei der UF-verleimte HWS mikrobiologisch zu Kultursubstraten für die Garten- und Landwirtschaft umgesetzt werden. Der bei der Kompostierung freigesetzte organische Stickstoff des Bindemittels, der bei der Verbrennung nachteilig wirkt, aktiviert hier das Wachstum der Mikroorganismen und wird zu einem wertvollen Nährstoff für die Pflanzen.

Klaus Richter, Dr., dipl. Holzwirt, Stv. Leiter
Abteilung Holz der Empa Dübendorf;
klaus.richter@empa.ch

Anmerkungen/Literatur

- 1 Kurzfassung des Beitrags «LCA-Recycle-Reuse» im State-of-the-Art Report «Glued Wood Products» der Cost-Aktion E13 «Wood Adhesion and Glued Products», Brüssel 2002.
- 2 A. Frühwald, C. Pohlmann und G. Wegener: Holz, Rohstoff der Zukunft: nachhaltig verfügbar und umweltgerecht. Informationsdienst Holz, Deutsche Gesellschaft für Holzforschung (DGfH), München 2001.
- 3 F. Werner, K. Richter, S. Bosshart und R. Frischknecht: Ökologischer Vergleich von Innenbauteilen am Beispiel von Zargen aus Massivholz, Holzwerkstoff und Stahl. Empa/ETH-Forschungsbericht, Dübendorf 1997.
- 4 F. Werner, H. J. Althaus und K. Richter: Post-consumer Wood as Challenge in Decision Support Tools. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 3/2002.

J. Kreissig: Persönliche Mitteilung, IKP Universität Stuttgart, 2000 und 2001.