

<b>Zeitschrift:</b>	Schweizer Ingenieur und Architekt
<b>Herausgeber:</b>	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
<b>Band:</b>	109 (1991)
<b>Heft:</b>	39
<b>Artikel:</b>	Ökoprofil von Holz: Bewertungsaspekte und Optimierungsansätze beim Holz als Bau- und Werkstoff
<b>Autor:</b>	Richter, Klaus
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-86016">https://doi.org/10.5169/seals-86016</a>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 23.02.2026

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

# Ökoprofil von Holz

Bewertungsaspekte und Optimierungsansätze beim Holz als Bau- und Werkstoff

**Nach den Energiekrisen der 70er Jahre fehlte in kaum einem Referat oder Artikel über das Eigenschaftsspektrum des Holzes ein Hinweis auf seine günstige energetische Gesamtbilanz, zumeist noch mit Verweis auf die viel höheren Energiemengen zur Herstellung anderer Baustoffe. Daraus wurde dann oftmals ohne weitere Prüfungen gefolgt, Holzprodukte seien a priori «natürlich, gesund und umweltfreundlich». Neuere Studien bringen indes mehr Klarheit über den ökologischen Stellenwert des Holzes.**

Es ist mittlerweile umstritten, dass neben eigentlichen Energieanalysen die Betrachtung von Luft-, Wasser- und Bo-

von KLAUS RICHTER,  
DÜBENDORF

denbelastungen sowie gegebenenfalls die Berücksichtigung weiterer Aspekte notwendig sind, um eine ökologische Charakterisierung von Materialien oder Produkten vorzunehmen. Dies sollte im Idealfall umfassend und über den gesamten Lebenszyklus des Produktes geschehen. Eine umfangreiche Methodik zur Erstellung derartiger Studien liegt vor [1, 2]. Kontrovers diskutiert wird derzeit die Frage, wie die Zielgrößen von Ökobilanzen bewertet, gewichtet und damit vergleichbar gemacht werden sollen [3, 4].

Neben Verpackungsmaterialien werden in jüngster Zeit auch Baustoffe und Bauprodukte in Ökobilanzstudien einbezogen. Die wichtigsten im Bauwesen eingesetzten Halbfabrikate aus Schweizerholz – Nadelschnittholz, Brettchichtholz sowie Span- und Faserplat-

ten – wurden aufgrund des Energieverbrauchs und der resultierenden Luftbelastung bewertet [5]. Die Zahlen sollten in Detailstudien zur ökologischen Bewertung typischer Holzanwendungen (z.B. Fenster, Möbel, Bodenbeläge, Wand- und Deckenkonstruktionen) eingesetzt werden, um auch die mit der Verwendung, dem Gebrauch und der Entsorgung eines Produktes verbundenen Umweltauswirkungen zu erfassen.

Die nachfolgenden Ausführungen weisen im ersten Teil darauf hin, dass neben den bewertbaren Zahlen insbesondere bei Holzprodukten eine Reihe nicht quantifizierbarer Aspekte mit in eine Gesamtbetrachtung einfließen muss. Anschliessend wird aufgezeigt, wie sowohl die Holzbe- und -verarbeiter als auch die Benutzer das Ökoprofil von Holzprodukten positiv beeinflussen können.

## Produkt-unabhängige Aspekte

Bei der ökologischen Bewertung von Holzprodukten muss – im Gegensatz zu

den meisten anderen Baumaterialien – zwischen umweltwirksamen Faktoren unterschieden werden, die direkt mit der Herstellung und Bearbeitung des untersuchten Produktes in Zusammenhang stehen, und solchen, die für den Rohstoff generell gelten, die sich bei den Einzelbetrachtungen aber nicht erfassen oder zahlenmäßig ausdrücken lassen.

Unter die letzte Gruppe fallen beim Holz die nachfolgend kurz ausgeführten Rahmenfaktoren.

## Holznutzung und Waldfunktionen

Die Holzproduktion erfolgt in der Schweiz in Wäldern, die rund ein Drittel der Landesfläche bedecken und als vielfältig gegliederte Vegetationsformen Funktionen erfüllen, die für die Menschen und die umgebende Natur von lebenswichtiger Bedeutung sind (Bild 1). Wälder bieten Schutz vor Erosion, Lawinen und Steinschlag, sie gleichen Klimaextreme aus, regulieren die Bodenfeuchte, filtern Staub und chemische Verunreinigungen aus der Luft, gliedern die Landschaft und bieten Lebensraum für Tiere und Pflanzen. Wälder erfüllen wichtige soziale Funktionen, indem sie ein vielfältiges Angebot von Erholungsmöglichkeiten bieten sowie einen Beitrag zu Naturschutz, Landschaftspflege und Landeskultur liefern. Nachgewiesenermassen erfüllt ein bewirtschafteter Wald all diese Funktionen bis auf wenige Ausnahmen gleichwertig und besser als ein sich selbst überlassener, so dass die Rohstofffunktion nicht im Gegensatz zu den Schutz- und Wohlfahrtsfunktionen zu sehen ist. In einer technischen Ökobilanz werden diese für den Rohstoff Holz positiven Aspekte nicht aus-

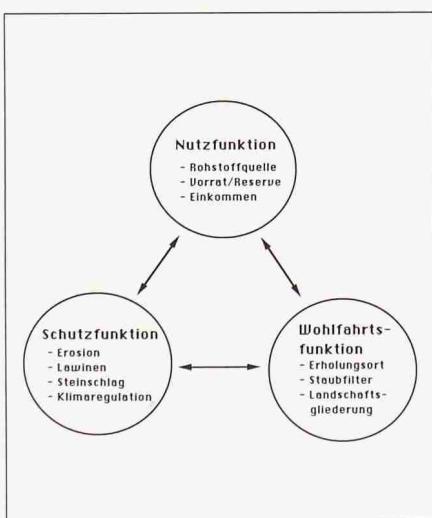


Bild 1. In einem bewirtschafteten Wald werden Nutz-, Schutz- und Wohlfahrtsfunktionen gleichermaßen erfüllt

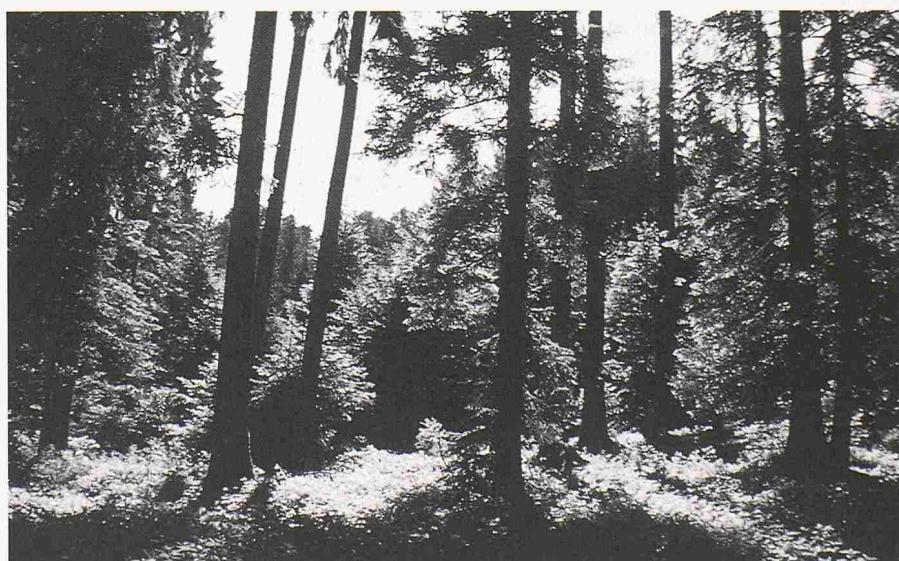


Bild 2. Holz wächst in Schweizer Wäldern natürlich und nachhaltig

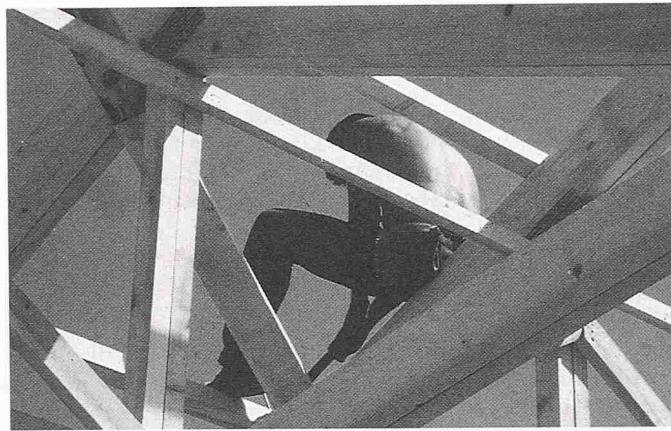


Bild 3. Holzverwendung in dauerhaften Konstruktionen bindet grosse Mengen  $\text{CO}_2$  und entzieht sie dem  $\text{CO}_2$ -Kreislauf

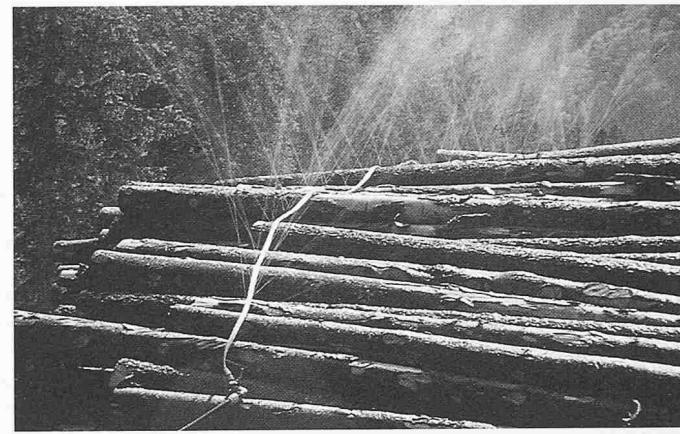


Bild 4. Nasslagerung von Rundholz in berieselten Poltern ist eine ökologisch sinnvolle Konservierungsmethode

gewiesen. Sie müssen aber, insbesondere beim Vergleich verschiedener Materialgruppen, mit in die Entscheidungsfindung einbezogen werden.

### Nachhaltige Verfügbarkeit des Rohstoffes

Von den klimatischen Gegebenheiten ermöglicht und vom Eidg. Forstgesetz gefordert, wird das Holz im Schweizerwald nachhaltig verfügbar bereitgestellt: Es darf nur soviel Holz genutzt werden, wie im langjährigen Durchschnitt nachwächst (Bild 2). Dies sind ca. 6,5–7 Mio  $\text{m}^3$ /Jahr.

Demgegenüber beträgt das Einschlagsmittel der letzten 20 Jahre nur ca. 4,1 Mio  $\text{m}^3$ . Dies führte – insbesondere in unzugänglicheren Gebieten – zu einer Überalterung der Wälder, die sich negativ auf den Gesamtzustand und die Stabilität auswirken kann. Daher ist anzustreben, die jährliche Holzerntemenge auf die Nachhaltigkeitsgrenze zu steigern, was zur fast vollständigen Dekkung des gegenwärtigen Inlandbedarfs beitragen würde (ca. 7,5 Mio  $\text{m}^3$ ).

Gleichzeitig könnten mit dieser Massnahme Importe bei Holzprodukten abgebaut werden. Diese Importe sind nicht nur aus ökologischer Sicht unsinnig. Für die meisten in der Schweiz eingesetzten Holzprodukte könnte somit, bei einer Ökobilanzierung, ein hoher Selbstversorgungsgrad geltend gemacht werden, wobei die Rohstoffe langfristig keinen Ressourcen-Beschränkungen unterliegen.

### Schonende, risikolose Ernteverfahren

Produktion und Bereitstellung von Holz erfolgen mit den in der Schweiz üblichen Bewirtschaftungs- und Ernteverfahren (keine Kahlschläge) umweltschonend und risikoarm. Dies vor allem im Vergleich zu vielen Alternativrohstoffen (z.B. Eisenerz, Bauxit, Kohle, Erdöl, Uran), deren Gewinnung mit teilweise erheblichen Eingriffen in die Na-

tur verbunden ist (Übertagebau) oder Umweltgefahren in sich birgt (Bohrinsel- oder Tankerunfälle). Voraussetzung für die in der Schweiz praktizierte periodische Entnahme der Stämme ist ein dichtes und intaktes Waldwegenetz, das aber grosstes auch Erholungssuchenden zur Verfügung steht. Die Verwendung von Pflanzenschutzmitteln (dazu gehören auch die insektiziden Holzschutzmittel) unterliegt einer Anwendungsbewilligung der kantonalen Forstdienste. Sie dürfen nur unter besonderen Voraussetzungen eingesetzt werden, z.B. wenn die Holzqualität durch Naturereignisse beeinträchtigt ist. Obwohl die geltenden Vorschriften durch den Ausweis von Schutzzonen vor allem eine unmittelbare Grundwasserbelastung ausschliessen, müssen die negativen Auswirkungen etwaiger Forstschutzmassnahmen in Ökobilanzen berücksichtigt werden.

### Ausgeglichene $\text{CO}_2$ -Bilanz

Durch die steigende  $\text{CO}_2$ -Konzentration der Atmosphäre, die im direkten Zusammenhang mit der Zunahme der mittleren Lufttemperatur an der Erdoberfläche zu sehen ist (Treibhauseffekt), bekommt die ausgeglichene  $\text{CO}_2$ -Bilanz des Holzes eine stärkere Gewichtung. Da es keine Luftgrenzwerte für  $\text{CO}_2$ -Gas gibt, wird dieser Aspekt bisher in Ökobilanz-Studien nicht quantitativ erfasst. Folgende Punkte sind von Bedeutung:

- Bei der Fotosynthese wird von den Bäumen  $\text{CO}_2$  aufgenommen und zum Aufbau von Biomasse (Holz, Wurzeln, Blätter usw.) verwendet.
- Im Holz wird der Kohlenstoff über lange Zeit gebunden und damit dem kurzfristigen Kreislauf mit der Atmosphäre entzogen. Wälder tragen deshalb als Kohlenstoff-Speicher zur Verminderung des  $\text{CO}_2$ -Gehaltes der Luft bei.
- Bei einer dauerhaften Verwendung von Holz als Bau- und Konstruktionsmaterial wird der Kohlenstoff über

die Lebenszeit der Bäume hinaus gebunden und dem natürlichen Kreislauf entzogen. Diese Verlängerung der Speicherung ist ein zusätzlicher Beitrag zum Abbau des  $\text{CO}_2$ -Gehaltes der Atmosphäre. Der Energiegehalt des Holzes bleibt dabei im wesentlichen erhalten und kann später genutzt werden.

- Bei der energetischen Nutzung wird der gebundene Kohlenstoff wieder freigesetzt. Es wird dabei ebensoviel  $\text{CO}_2$  oxidiert wie bei der natürlichen Verrottung des Holzes im Wald.

Für den Aufbau einer Tonne Holztrockensubstanz werden etwa 1,5 Tonnen  $\text{CO}_2$  benötigt. Auf den gesamten Schweizer Wald bezogen, ergibt sich ein jährlicher  $\text{CO}_2$ -Verbrauch von 14 Mio Tonnen. Legt man die genutzte Holzmasse von 4,1 Mio  $\text{m}^3$  (ca. 2 Mio Tonnen Trockensubstanz) zugrunde, werden ca. 3 Mio Tonnen  $\text{CO}_2$  je nach Verwendung kurz- oder längerfristig gebunden. Durch einen vermehrten Holzeinsatz insbesondere im Bauwesen (langfristige Verwendung) könnte diese Menge erheblich vergrössert werden (Bild 3).

Auch die  $\text{CO}_2$ -Freisetzung durch Be- und Verarbeitungsprozesse (Verbrennung fossiler Brennstoffe) sollte in Ökovergleichen beachtet werden, was wegen der fehlenden Grenzwerte bisher nicht geschieht. Da die  $\text{CO}_2$ -Freisetzung direkt proportional zur Menge der eingesetzten fossilen Energieträger verläuft, darf auch für die Bearbeitungsprozesse in der Holzindustrie eine vergleichsweise günstige  $\text{CO}_2$ -Bilanz angenommen werden. Die  $\text{CO}_2$ -Auswirkungen bei einer Substitution fossiler Energieträger durch Holz sind zahlenmäßig bekannt und sprechen eindeutig für den Brennstoff Holz [6].

### Vollständige Rohstoffausnutzung

Ein weiteres Merkmal der Verwendung von Holz liegt in einer fast vollständigen Rohstoffausbeute. Schon im Wald wer-

den Durchforstungs- und Resthölzer entweder zu Brennholzsortimenten aufbereitet oder als Rohstoff der Spanplatten, Faserplatten- oder Papierindustrie zugeführt. Rindenreste werden als Humus aufbereitet. Sägereiabfälle (Schwarten, Spreissel, Sägemehl, Späne) erfahren als Koppelprodukte in der Span- und Faserplattenindustrie eine Wertschöpfung, indem sie als vormals Reststoffe zu primären Rohstoffen werden und damit eine im Vergleich zur energetischen Verwendung oder Deponielagerung weitere Nutzungsverlängerung erfahren. Mit höherem Bearbeitungs- und Veredlungsgrad von Holzprodukten nehmen die Möglichkeiten der direkten, wertschöpfenden Wiederverwendung ab, z.T. wegen der verwendeten Zusatzstoffe, z.T. aufgrund des dezentralen Anfalls. Mit der Entwicklung von geeigneten Verbrennungs-technologien ist es aber möglich, auch derartige Abfallstoffe bei kontrollierten Emissionen energetisch zu verwerten und somit kostbaren Deponieraum einzusparen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Holz und Holzprodukte generell den Erfordernissen einer natürlichen Kreislaufwirtschaft genügen, wobei auch der mit der Verwendung als Bau- und Werkstoff verbundene Entzug des Holzes aus der kurzfristigen Umsetzungskette gesamtökologisch einen Vorteil darstellt.

## Material- und produktbezogene Aspekte

Neben den generell zutreffenden Kriterien lassen sich zahlreiche Prozess- und Bearbeitungsschritte in der Holzindustrie zahlenmäßig erfassen und auf ihre ökologischen Auswirkungen hin bewerten. Dazu stehen die in Tabelle 1 zusammengefassten Grundlagendaten zur Verfügung.

Aufgrund der unterschiedlichen Materialdichten und der voneinander abweichenden Anwendungsbereiche der untersuchten Holzhalbfabrikate dürfen diese Zahlenwerte, die Durchschnittsverhältnisse wiedergeben, nicht direkt miteinander verglichen werden. Eine Bevorzugung von Schnittholz gegenüber Holzwerkstoffen wäre die Folge, was aufgrund der vorgenannten Materialverknüpfungen negative Auswirkungen auf die gesamte Holzwirtschaft hätte. Eine ökologische Gesamtbetrachtung muss indes weiter gehen als nur bis zum Halbfabrikat, wodurch die Holzwerkstoffe – richtig eingesetzt – durch ihre Beiträge zur Wärmedämmung und Luftdichtigkeit ökologische Pluspunkte verbuchen können. Auch sind direkte Vergleiche zu den Energieverbrauchszahlen

	Dichte (kg/m <sup>3</sup> )	Ernte	Trans- porte	Ein- schnitt	Trock- nung	Produktion inkl. Trocknung	Zusatz- stoffe	Summe
		Primärenergieverbrauch (kWh)						
Nadelschnittholz	470	30	12	80	370	—	—	492
Brettschichtholz	450	42	28	112	**	1336	150	1668
Spanplatte	650	39	34	*	**	1173	708	1954
Faserplatte hart	900	75	82	*	**	3407	208	3772
Faserplatte weich	300	24	26	*	**	1036	260	1346
Kritisches Luftvolumen (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )								
Nadelschnittholz	470	1,6	0,7	0,6	3,7	—	—	6,6
Brettschichtholz	450	2,1	1,7	0,8	**	10,0	1,5	16,1
Spanplatte	650	3,0	1,3	*	**	19,5	6,9	30,7
Faserplatte hart	900	5,7	3,3	*	**	16,1	2,0	27,1
Faserplatte weich	300	1,8	1,0	*	**	8,1	2,0	13,4

\* Die Belastungen beim Einschnitt sind dem Hauptprodukt (Schnittholz) zugeordnet

\*\* Die Belastungen bei der Trocknung sind bei der Produktion miterfasst

Tabelle 1. Primärenergieverbrauch und kritisches Luftvolumen pro m<sup>3</sup> Holzhalbfabrikat

Wandtyp	Dicke (cm)	Masse (kg/m <sup>2</sup> )	k-Wert (W/m <sup>2</sup> )	R <sub>w</sub>	PE	KLV	Unterhalt (Anstriche)	Entsorgung
Holzrahmen- konstruktion	23	79	0,32	50	234	1333	4	Massivholz: Wieder- verwendung möglich HWS: Energienutzung
Backstein, verputzt	51	609	0,39	52	465	2473	2	Deponie, Strassenbau
Isomodul-Super, verputzt	39	407	0,40	50	398	2770	2	Deponie, Strassenbau
Backsteinwand, aussen gedämmt	31	264	0,39	56	238	1027	1	Deponie, Strassenbau

Legende: R<sub>w</sub>: Schalldämmmass; PE: Primärenergiebedarf (kWh/m<sup>2</sup> Wand); KLV: kritisches Luftvolumen (1000 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> Wand)

Tabelle 2. Wichtige Kenngrößen zur ökologischen Bewertung von Außenwänden

und Luftbelastungswerten anderer Halbfabrikate unzulässig, da 1 m<sup>3</sup> Schnittholz nicht mit 1 m<sup>3</sup> Stahl oder PVC vergleichbar ist. Vielmehr sollten die Ergebnisse von Ökobewertungen nur bei der Anwendung auf direkt vergleichbare Produkte herangezogen werden oder zur Prozessoptimierung dienen. Auf beide Zielbereiche wird nachfolgend beispielhaft eingegangen.

## Beispielhafte Anwendung der Basisdaten zu Material- vergleichen

Um innerhalb einer Gruppe von Produkten aus verschiedenen Materialien eine Ökobewertung durchzuführen, müssen folgende Voraussetzungen sichergestellt sein:

- Für alle Materialien müssen Grundlagendaten bereitstehen, die mit ähnlichen Systemgrenzen errechnet wurden, z.B. müssen dieselben Immisionsgrenzwerte und Wirkungsgrade bei der Energieerzeugung verwendet werden, alle Anlagen müssen demselben Stand der Technik entsprechen usw.
- Die Prozessketten der Produkteherstellung müssen bekannt und anhand

der für eine Ökobetrachtung relevanten Größen bewertbar sein.

- Die Produkte müssen technisch vergleichbar sein – Preis, Form und Gestaltung spielen eine untergeordnete Rolle.
- Neben den Basisdaten zur Herstellung der Produkte müssen Abklärungen über ihr Verhalten beim Gebrauch und bei ihrer Verwertung getroffen werden. Dies schliesst Unterhaltsarbeiten, Schadstoffemissionen und unterschiedliche Verwertungsszenarien mit ein. Da insbesondere zum letzten Punkt nur unzureichende Zahlen vorliegen, können hier nur überschlägige Abschätzungen gemacht werden (z.B. Entsorgung in KVA, Verbrennung in zugelassenen Anlagen, Deponie, Recycling).

Die Beachtung all dieser Punkte ist notwendig, um zu ganzheitlichen Aussagen zu kommen. Am Beispiel von vier Außenwandkonstruktionen (Lebensdauer ca. 30 Jahre) sind die zur ökologischen Bewertung relevanten Größen in Tabelle 2 aufgeführt.

Die technisch bedeutsamen Parameter (k-Wert, Schalldämmmass) liegen bei allen vier Modellen in der gleichen Größenordnung. Unterschiede ergeben sich

## Ökologische Stärken von Holz

- natürlicher Rohstoff mit Nachwuchs
- umweltschonend zu gewinnen
- Verwendung entlastet CO<sub>2</sub>-Bilanz
- regional verfügbar, kurze Transportwege
- günstiges Verhältnis Gewicht/Festigkeit
- einfach zu be- und verarbeiten
- optimale Rohstoffausbeute durch Koppelproduktion
- unter bestimmten Voraussetzungen langlebig
- gut wiederverwertbar
- reststoffarm unter Energienutzung zu entsorgen

in den Wanddimensionen, im Flächen gewicht und in den herstellungsbezogenen Ökobilanzkennzahlen «Primärenergiebedarf» und «kritisches Luftvolumen». Die aussengedämmte Backsteinwand und die Holzrahmenkonstruktion differieren in den beiden letztgenannten Größen nur unwesentlich, während die beiden Modulbacksteinwände deutlich höhere Verbrauchswerte aufweisen. Da das Flächengewicht und die Wanddicke sich indirekt auf die im Beispiel nicht miterfassten Materialtransporte und Verarbeitungsaufwendungen auswirken und auch bei der Entsorgung die indirekten Belastungen mitbestimmen, kann die Holzrahmenkonstruktion insgesamt als die ökologisch günstigste Variante bezeichnet werden, obwohl sie bei den Unterhaltsarbeiten den grössten Aufwand erfordert. Auch ihre derzeit absehbaren Entsorgungsmöglichkeiten sind vorteilhafter, weil hier ein Energierückfluss resultiert, während die Backsteinvarianten entweder Deponievolumen belegen oder – nach energieaufwendiger Aufbereitung (Mahlen) – im Strassenbau eingesetzt werden können.

Ähnliche Untersuchungen sind inzwischen auch für Fenster erstellt, wobei sich auch hier für die Holzvarianten günstige Ergebnisse abzeichnen. In einer ökologischen Studie über Wärmedämmstoffe [7] wurde den Holzfaserplatten als einzigem Produkt das Prädikat «besonders empfehlenswert» zugesprochen.

## Ansatzpunkte zur ökologischen Optimierung

Es wäre eine gefährliche Schlussfolgerung, wenn die Holzwirtschaft aus den positiven Ansätzen erster Ökoprofiluntersuchungen für sich in Anspruch nähme, ökologisch optimal und konkurrenzlos zu sein. Negative Schlagzeilen, die leider immer wieder in Zusammenhang mit Holz und Holzprodukten in der Presse erscheinen, weisen auf Problem bereiche hin, an denen – trotz un wider-

legbarer Verbesserungen der letzten Jahre – auch in Zukunft noch gearbeitet werden muss. Stichworte sind: lösungsmittelarme/freie Anstrichsysteme; Spanplatten mit kontrolliert niedrigem Formaldehydgehalt; neue, biologisch abbaubare Wirkstoffe in Holzschutzmitteln; leistungsfähige Rauchgasreinigungssysteme usw.

In kritischen Bereichen wie dem Holzschutz hat ein Umdenken stattgefunden, so dass in Wohn- und Aufenthaltsräumen heute keine wirkstoffhaltigen Mittel mehr eingesetzt werden. Dies vermindert die Gesundheitsrisiken und vor allem die Unsicherheit bei Verbrauchern und erleichtert die zukünftige Entsorgbarkeit der Holzbauteile. Dort, wo konstruktive Schutzmassnahmen im Außenbau nicht alleine vor direktem Witterungseinfluss schützen, Holzkonstruktionen aber dennoch eine sinnvolle und vorteilhafte Lösung darstellen, müssen allerdings gefährdete Bauteile mit Holzschutzmitteln behandelt werden. Diese Behandlung muss, um das Umweltrisiko bei der Applikation zu reduzieren, von industriellen Imprägnierbetrieben unter kontrollierten, gesetzlich überwachten Bedingungen erfolgen. Sind diese Voraussetzungen gegeben und werden die richtigen Schutzmittel verwendet, kann die Wasser- und Bodenbelastung aus der Schutzbehandlung minimal gehalten werden. Die dadurch gewährleistete Sicherheit und die vielfach verlängerte Lebensdauer der Konstruktionen sind demgegenüber durchaus ein ökologischer Beitrag. Alternativ wäre die Verwendung natürlich resisterter Holzarten (z.B. Kernholz von Eiche, Robinie, evtl. Lärche) möglich. Da diese einheimischen Nutzhölzer nur beschränkt in den nötigen Mengen verfügbar sind, kämen hierfür fast ausschliesslich einige besonders resitive Tropenhölzer in Frage.

Die kritische Analyse aller Bearbeitungsschritte innerhalb der Holzketten deckt Bereiche auf, in denen das Ökoprofil des Holzes in unnötiger Weise negativ verändert wird. Bei entsprechendem Problembewusstsein der Verarbeiter und der Bereitschaft der Kunden, überzogene Qualitätsanforderungen zugunsten einer umweltverträglicheren Verarbeitung zurückzuschrauben, können kritische Verfahren durch praktikable alternative Methoden ersetzt werden.

Hierzu einige Beispiele:

- Ersatz der aus fossilen Rohstoffen hergestellten Schmiermittel bei der Holzernte und im Sägewerk (Boden/Wasserbelastung!) durch Öle auf pflanzlicher Basis
- Errichtung von künstlich berechneten Holzlagerplätzen zur Werterhaltung

von Holz anstelle einer chemischen Behandlung (Abb. 4)

- Verzicht auf vorbeugende Behandlung von Schnittholz gegen Bläue durch rasches Trocknen der Sortimente
- Optimierung der Holztrocknung durch ausreichende Freiluft-Vortrocknung, Standardisierung der Querschnitte, gute Auslastung der Trockenkammern. Bedingt frühzeitige Bestellung (2 Monate) der Holzlisten durch die Planer
- Teilweise Substitution der synthetischen Stoffe in Leimharzen bei der Brettschichtholz- und Spanplattenproduktion durch Rindenextrakte und Lignin aus Sulfitablaage
- Einführung und Förderung von Recyclingverfahren für Holz und Holzwerkstoffabfälle (z.B. Spanplattenreste)
- Bevorzugung wasserlöslicher Anstrichstoffe zur Oberflächenbehandlung bei gleichzeitiger Restwasser-Aufbereitung
- Akzeptanz der streichen und lebhaften Struktur vieler Schweizer Holzsortimente durch die Verbraucher anstelle des Importes grosser Mengen homogener nordischer Schnitthölzer.

## Ausblick

Durch die Anwendung der Methode der Ökobilanzierung auf Holzprodukte ist es möglich, vormals wenig fundierte

### Literatur:

- [1] Fecker I. (1990): Was ist eine Ökobilanz? EMPA St. Gallen. 24 S.
- [2] BUWAL (1991): Ökobilanz von Packstoffen, Stand 1990. Schriftenreihe Umwelt, Nr. 132, 166 S. + Anhang
- [3] BUWAL (1990): Methodik für Ökobilanzen auf der Basis ökologischer Optimierung. Schriftenreihe Umwelt, Nr. 133, 39 S.
- [4] Hofstetter P. (1991): Bewertungsmodelle für Ökobilanzen. Energie- und Schadstoffbilanzen im Bauwesen. Beiträge zur Tagung vom 7.3.1991, S. 19–37, ETH Zürich
- [5] Meier K., Streiff H.-R., Richter K., Sell J. (1990): Ökologische Bewertung des Bau- und Werkstoffs Holz. «Schweizer Ingenieur und Architekt – SIA» Heft 24/90, Seiten 689–695
- [6] Ledergerber E. (1991): Energie aus Heizöl oder Holz? Eine vergleichende Umweltbilanz. «Schweizer Ingenieur und Architekt – SIA» Heft 24/91, Seiten 572–575
- [7] Studentenarbeitsgruppe Wärmedämmstoffe (1989): Wärmedämmstoffe. Versuch einer ganzheitlichen Betrachtung. Ing.-Schule beider Basel, Nachdiplomstudium Energie. 46 S.

Aussagen über deren ökologische Qualitäten zu präzisieren. Die erhöhte Umweltsensibilisierung muss von der Holzindustrie als Chance wahrgenommen werden: Die eindeutig vorhandenen positiven Eigenschaften von Holz (siehe Kasten) können auf der Basis konkret dargestellter Zusammenhänge als Argumente für eine Verwendung als Bau- und Werkstoff eingesetzt werden. Dazu ist es notwendig, sowohl übergeordnete Sachverhalte als auch produkt-spezifische Details zu erkennen und deutlich zu machen.

Die Umsetzung der aufgezeigten Möglichkeiten setzt neben einem gesteiger-

ten Problembewusstsein voraus, dass der Informationsfluss zwischen den in der Holzkette Beteiligten besser als bisher funktioniert. Einerseits müssen Kundenwünsche erkannt und umgesetzt werden, andererseits müssen mögliche Konsequenzen ökologischer Verarbeitung deutlich dargestellt werden. Holz kann ohne weiteres unter Verzicht auf jegliche Veredelungsprozesse und ohne Zusatzstoffe eingesetzt werden. Dass dies oftmals nicht die ökologisch beste Lösung ist, muss dem Verbraucher verdeutlicht werden. Die ungedämmte Außenwand aus ungetrocknetem

Rundholz ist gesamtenergetisch ebenso unsinnig wie ein Rohholzfenster, aus dem nach wenigen Jahren holzzerstörende Pilze wachsen. Hier bedarf es der Aufklärung und Beratung durch gut informierte Fachleute, damit vermieden wird, dass enttäuschte Kunden nach einer «Holz-Öko-Lösung» zu umweltbezogen ungünstigeren Ersatzprodukten oder Bauweisen wechseln.

Adresse des Verfassers: Dr. Klaus Richter, dipl. Holzwirt, EMPA Abteilung Holz, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf.

## Holz als Brennstoff für WKK-Anlagen

Holzvergasung und Wärmekraftkopplung im Dienste des Umweltschutzes

**Die Technologie zur Erzeugung von Holzgas und dessen Nutzung zur Wärmeerzeugung sowie zum Antrieb von Motoren ist seit Jahrzehnten bekannt. Diese Technologie könnte einen Beitrag zum Umweltschutz und zur Substitution anderer Energieträger leisten, wie eine Untersuchung im Auftrag der Fachstelle für Wasser- und Energiewirtschaft des Kantons Graubünden zeigt [1]. Der nachstehende Aufsatz vermittelt einen Überblick über den heutigen Stand der Technik, deren Kosten, Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit.**

### Technologie

Es ist seit langem bekannt, dass beim Verglühen von Biomasse (Holz, Torf, Stroh usw.) unter Luftmangel brennba-

dem Dampf werden Dampfturbinen und damit gekoppelte Stromgeneratoren oder Wärmepumpen angetrieben (Bild 2).

### Wärmekraftkopplung

Die Wärmekraftkopplung mit Holz als Energieträger ist auf drei Arten möglich, die in den Bildern 1 und 2 schematisch dargestellt sind.

Beim ersten Verfahren wird energiereiches Holzgas nach dem Durchlaufen einer Reinigungsstufe zum Antrieb von Gasmotoren eingesetzt, deren Betrieb mit erdgasbetriebenen WKK-Anlagen verglichen werden kann. Der Verbrennungsmotor seinerseits treibt wahlweise einen Stromgenerator oder eine Wärmepumpe. Der Leistungsbereich liegt zwischen 200 kW<sub>th</sub> und 2 MW<sub>th</sub>. Beim Antrieb eines Stromgenerators kann ein Gesamtwirkungsgrad der Anlage von rund 72% angenommen werden, wovon  $\frac{1}{3}$  auf die Strom- und  $\frac{2}{3}$  auf die Wärmeproduktion entfallen. Beim Betrieb einer Wärmepumpe beträgt der Gesamtwirkungsgrad «Wärme» rund 120%.

Beim zweiten Verfahren wird einer Kolbenmaschine, dem Stirlingmotor, kontinuierlich Wärme zugeführt, wodurch das geschlossene Zylinder-Kolben-System Arbeit verrichtet. Die Wärme kann in einem Holzvergaserkessel nach bekannter und erprobter Technologie durch direkte Verfeuerung des Holzgases erzeugt werden. Dadurch entfallen sowohl die Reinigung des Holzgases als auch die spezielle Abwasserentsorgung. Der mögliche Leistungsbereich umfasst einige kW bis rund 100 kW. Die Wärme kann maximal bis zu 30% in mechanische Arbeit umgesetzt werden. Der Rest ist weiterhin nur wärmotechnisch nutzbar.

Das dritte Verfahren ist in Bild 2 dargestellt. In diesem Fall ist es gleichgültig, ob das Holz direkt im Wirbelschichtofen verbrannt und die Wärme zur Dampferzeugung genutzt oder zunächst Holzgas produziert und anschliessend ebenfalls zur Dampferzeugung verwendet wird. Es kommen sowohl Kondensationsturbinen mit einer Leistung über 4 MW<sub>th</sub> als auch Gegendruckturbinen mit Leistungen über 1 MW<sub>th</sub> zum Einsatz. Der wesentliche Unterschied bei den Turbinen liegt in den Anteilen an der Strom- und Wärmeerzeugung. Gegendruckturbinen liefern zu rund 15% Kraft und zu rund 85% Wärme. Bei Kondensations-

### Literatur

- [1] Reto Schmid, Januar 1991, «Untersuchung über die Verwendung von Holz zum Antrieb von Wärmekraftkopplungsanlagen»
- [2] BEW/ATAL, Forschungsprojekt Holzvergasung-Altholz, «Holzvergasungsanlagen in Europa im Bereich 2 bis 5 MW thermisch»