

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 108 (1990)  
**Heft:** 24

**Artikel:** Zur ökologischen Bewertung des Bau- und Werkstoff Holz  
**Autor:** Meier, Kurt / Streiff, Hansruedi / Richter, Klaus  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-77453>

### **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:** 15.05.2025

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

# Zur ökologischen Bewertung des Bau- und Werkstoff Holz

**Bis vor kurzem wurden Produkte einzig aufgrund ihrer materialtechnischen, ästhetischen und wirtschaftlichen Aspekte beurteilt. Seitdem der Club of Rome und die Ölkrisen der 70er Jahre die Erschöpfbarkeit der fossilen Energieressourcen aufgezeigt und viele Umweltschäden die Bevölkerung aufgeschreckt und sensibilisiert haben, muss auch die Umweltverträglichkeit zunehmend in die Beurteilung einbezogen werden. Während die technischen Materialeigenschaften nach einheitlich festgelegten Prüfverfahren ermittelt und überprüft werden können, genügen die verfügbaren Unterlagen zur Quantifizierung der ökologischen Qualitäten von Baustoffen und Baumethoden nicht. Da einheitliche Vorgehensweisen fehlen, können entsprechende Produktkennzeichnungen – sofern überhaupt vorhanden – vom Verbraucher weder bewertet noch im Vergleich zu Alternativprodukten beurteilt werden.**

Anlässlich der Konferenz «Energie und Bau heute und morgen» vom Oktober 1989 in Montreux manifestierte sich

VON KURT MEIER, HANSRUEDI STREIFF, ZÜRICH, UND KLAUS RICHTER, JÜRGEN SELL, DÜBENDORF

denn auch der dringende Bedarf nach verbesserten Entscheidungsgrundlagen bezüglich der Beurteilung ökologischer Aspekte; einerseits für Energie- und Ökobilanzen von Baustoffen und Anlagen, andererseits für die Internalisierung externer Energie- und anderer Umweltkosten.

Nachfolgend wird ein methodischer Ansatz für Ökobilanzen aufgezeigt und auf Ergebnisse einer im Rahmen des Impulsprogrammes Holz durchgeführten Ökopprofil-Untersuchung des Bau- und Werkstoffes Holz hingewiesen. Ferner sollen auch Anregungen für vermehrte ganzheitliche Betrachtungen sowie für weitere Untersuchungen zur Verbesserung des Basiswissens über die Umweltverträglichkeit von Baustoffen gegeben werden.

## Methodischer Ansatz zu Ökobilanzen

Eine Ökobilanz soll die über den gesamten Lebenszyklus eines Produkts auftretenden Auswirkungen auf Mensch und Umwelt durch objektiv ermittelte Zahlen ausdrücken und mit-helfen, die Produkte und Prozesse ökologisch zu optimieren. Dazu werden die produktspezifischen Material- und Be-

arbeitungsabläufe aufgeschlüsselt und die bei der Rohstoffgewinnung, -aufbereitung, Produktherstellung, beim Gebrauch und bei der Entsorgung entstehenden Rohstoff- und Energieverbräuche sowie die Belastung von Luft, Wasser und Boden schrittweise bilanziert (vgl. Bild 1). Dazu einige Erläuterungen:

□ **Rohstoffverbrauch:** Der Bedarf an Rohstoffen wird unter Annahme realistischer Ausbeuteziffern aus dem Materialfluss-Schema ermittelt. Eine Bewertung hinsichtlich der Ressourcenverfügbarkeit von Rohstoffen erfolgt auf dieser Stufe noch nicht.

□ **Energieverbrauch:** In der Energiebilanz werden alle eingesetzten Energieträger (Heizöl, Treibstoffe, Brennholz) durch ihren Primärenergiegehalt (in kW-Stunden) erfasst. Die thermische Energie (z.B. für Prozesswärme) wird dazu über einen Anlagenwirkungsgrad in Primärenergie umgerechnet. Der Verbrauch an höherwertiger Elektrizität wird in Anlehnung an die Produktionsverhältnisse der zutreffenden Elektrizitätswirtschaft für die Addition zum Gesamtenergieverbrauch mit einem Primärenergiefaktor multipliziert. Die aus Erdölderivaten hergestellten Zuschlags- und Hilfsstoffe werden unter Beachtung ihres Primärenergiegehalts sowie eines Transport- und Herstellungszuschlags ebenfalls in der Energiebilanz erfasst.

□ **Luftbelastung:** Die Luftbelastung von Produktionsprozessen (z.B. bei der Energie-Erzeugung) und Transporten wird, wenn spezifische Messwerte nicht erfasst werden können, über Emissionsfaktoren hochgerechnet. Die Emissionen der untersuchten Schadstoffe (CO, HC, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, Pb, Staub bzw. Russ)

werden zusammengefasst und als kritische Luftmenge ausgedrückt. Dazu werden die Luftvolumina, die durch einen einzelnen Schadstoff jeweils bis zu einem definierten Grenzwert belastet werden, addiert. Nicht erfasst werden bei diesem Vorgehen mögliche Kopplungseffekte zwischen verschiedenen Emissionen; auch die Auswirkungen auf den CO<sub>2</sub>-Haushalt werden bisher zum Nachteil der Materialien mit ausgeglichener Bilanz (z.B. Holz) unter der Luftbelastung nicht berücksichtigt und müssen als weitere Aspekte bewertet werden.

□ **Wasserbelastung:** In analoger Weise zum Vorgehen bei der Luftbelastung können die bei Produktionsprozessen anfallenden Abwässer erfasst und als kritisches Wasservolumen zusammengefasst werden.

□ **Bodenbelastung:** Unter der Bodenbelastung werden alle die bei Prozessen über ungeschütztem Boden abgegebenen Stoffe und alle nicht verwertbaren festen Rückstände (Deponievolumen) erfasst. Eine quantitative Beurteilung ist wegen fehlender Belastungsgrenzwerte, z.B. für organische Stoffe, vielfach nicht möglich.

□ **Weitere Aspekte:** Hier werden zusätzliche, zahlenmässig nicht erfassbare Kriterien verbal dargestellt, die aufgrund ihrer Relevanz nicht vernachlässigt werden sollten, z.B. Bewertung der Ressourcenverfügbarkeit (Knappheit) von Rohstoffen, positive Aspekte der Koppelproduktion, Auswirkungen auf die CO<sub>2</sub>-Problematik, etc.

Ergebnisse von Ökobilanzierungen sind in grossem Masse von den gewählten Randbedingungen und Systemgrenzen abhängig. Diese werden üblicherweise so gewählt, dass die wesentlichen Belastungen mit vernünftigem Aufwand erfasst werden können; der Herstellungsaufwand für die Produktions- und Transportmittel wird dabei nicht berücksichtigt. Im weiteren sind insbesondere folgende Einflussgrössen von entscheidender Bedeutung: der Stand der Technik bei den Produktionsprozessen, die angenommenen Transportdistanzen und -mittel sowie die Grenzwerte für die Emissionsbewertung.

Als Ergebnis einer Ökobilanz erhält man nicht einen alles umfassenden Gesamtwert, sondern einzelne Werte zu den in Abbildung 1 aufgezeigten Zielbereichen. Eine Gewichtung und Aufsummierung dieser Einzelwerte zu einem Gesamtbilanzwert ist sachlich nicht vertretbar. Eine Bewertung muss

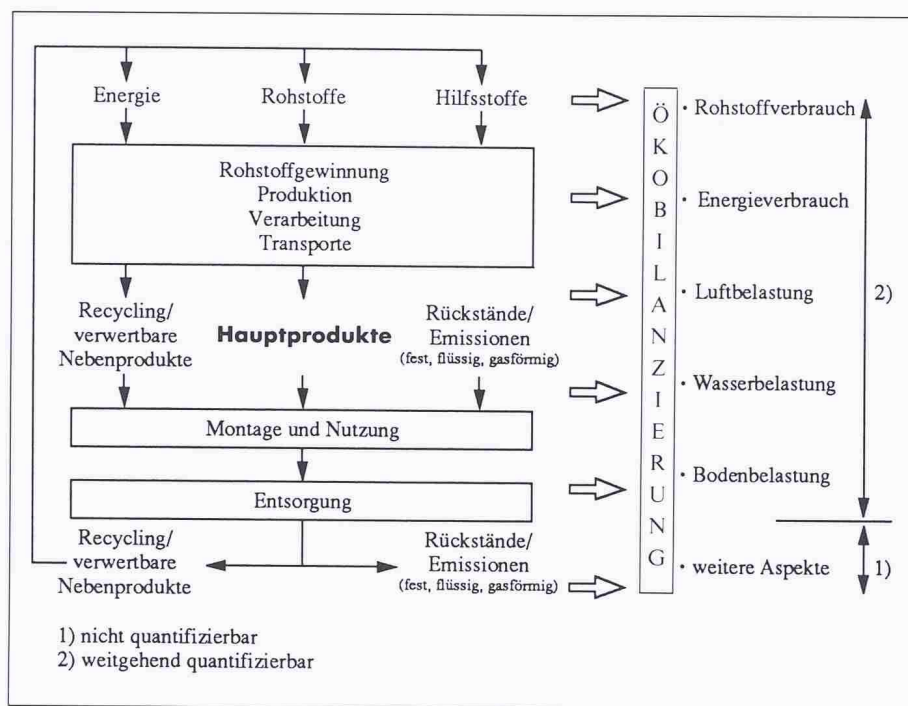


Bild 1. Betrachtungs- und Zielgrößen bei der Erstellung einer Ökobilanz

daher auf den einzelnen Verbrauchs- und Belastungsangaben erfolgen. Die an sich anzustrebenden Vergleiche zwischen Ökobilanzen gleichwertiger Produkte aus verschiedenen Materialien sind daher nur dann sinnvoll, wenn sie auf der Grundlage vergleichbarer Randbedingungen erfolgen. Das Aufzeigen der Vorgehensweise mit den dazugehörigen Randbedingungen und Annahmen ist daher Grundvoraussetzung für seriöse Ökobilanzbetrachtungen und Vergleiche.

Um Missdeutungen zu vermeiden, muss die Interpretation der neutral und objektiv ermittelten Angaben zu Energieverbräuchen und ökologischen Belastungen bei Produktionsprozessen folgenden übergeordneten Aspekt einschliessen:

Jede Weiterverarbeitung eines wie auch immer gearteten Rohstoffs erfordert Energie und verursacht Emissionen, so etwa bei der Herstellung von Grundnahrungsmitteln, Bekleidung, Baustof-

fen usw. Ein Verzicht auf derartige Halb- und Fertigfabrikate wäre jedoch unrealistisch und in der Regel kontraproduktiv. Viele bewährte und langlebige Produkte weisen trotz energieintensiver Herstellung nach vielen Jahren Nutzungsdauer eine vergleichsweise recht günstige Gesamtökobilanz auf. Daher sollen ganzheitliche ökologische Betrachtungen nicht bewährte und lebenswichtige Prozesse und Produkte in Frage stellen, sondern sie energetisch und ökologisch optimieren helfen.

### Ökopprofil-Untersuchung im Rahmen des Impulsprogrammes Holz

#### Ziele

Im Rahmen des IP Holz wurde in den Jahren 1988/89 eine Arbeitsgruppe (vgl. Kästchen) mit einer Studie über ökologische Aspekte von Holz und Holzwerkstoffen beauftragt. Mit dieser

- Der Rohstoff wächst in der Schweiz natürlich und umweltverträglich nach und bindet während seines Wachstums  $\text{CO}_2$  aus der Luft.
- Die Rohstoffgewinnung erfolgt sehr schonend: lange Eingriffsintervalle, kleinflächige Schläge, keine Terrainveränderungen.
- Die Waldbewirtschaftung begünstigt die Erfüllung der vielerorts primären Waldfunktionen «Schutz vor Lawinen, Steinschlag, Murgang, Hochwasser».
- Der Wald als Rohstoffproduzent erfüllt wie andere Naturflächen wichtige soziale Funktionen (Angebot von Erholungsmöglichkeiten, Beitrag zu Naturschutz, Landschaftspflege und Landeskultur, Nahrungsquelle [Beeren und Kräutern]).
- Gewinnung und Entsorgung von Holz sind hinsichtlich der  $\text{CO}_2$ -Emissionen ausgeglichen und schonen andere, nicht erneuerbare Rohstoffe.

Tabelle 1. Quantitativ (noch) nicht erfassbare, ökologische Vorteile des Baustoffs Holz

Studie wurde angestrebt, die meist qualitativen und pauschalen Beurteilungen des Holzes als ökologisch vorteilhaften Baustoff mittels einer Ökobilanz-Methodik mit möglichst realen quantitativen Aussagen zu ergänzen und allfällige ökologisch relevante Verbesserungsmöglichkeiten aufzuzeigen. Nach der ersten Bearbeitungsphase stellte sich heraus, dass für die ursprünglich anvisierte Betrachtung im Sinne einer umfassenden Bilanzierung die Grundlagen fehlten. Für die IP-Holz-Studie wurde deshalb der Begriff *Ökopprofil* verwendet. Schwerpunkte der Studie bilden die hinreichend genau erfassbaren Beurteilungsgrößen *Rohstoff- und Energieverbrauch* sowie *Luftbelastung* bei der Herstellung von Halb- und Fertigfabrikaten. Ergänzend dazu wurden die Wasser- und Bodenbelastung und die bauteilbezogenen Umweltbelastungen bei Gebrauch und Entsorgung qualitativ berücksichtigt. Mit aufgeführt sind auch die übergeordneten ökologischen Aspekte des Rohstoffs Holz.

Die Studie wurde in enger Zusammenarbeit mit Vertretern der Schweizer Wald- und Holzwirtschaft ausgearbeitet. Aufgrund eines detaillierten Zwischenberichtes wurde eine entsprechende Zusammenfassung erstellt und der zuständigen Kommission des IP Holz unterbreitet.

### Ökologische Aspekte des Rohstoffinputs

Bei der umweltbezogenen Bewertung von Holz- und Holzprodukten sind eine Reihe positiver Rahmenfaktoren zu berücksichtigen, die sich zahlenmässig bisher nicht ausdrücken lassen, und die von allen andern vergleichbaren Baumaterialien nicht in gleicher Weise erbracht werden. Sie sind in Tabelle 1 zusammengefasst und werden nachfolgend kommentiert.

Ein umweltbezogenes wichtiges Merkmal des Rohstoffs Holz ist seine in Mitteleuropa praktizierte nachhaltige und kleinflächige Nutzung bei schonenden, die Natur nicht zerstörenden Ernteverfahren. Der im eidgenössischen Forstgesetz festgeschriebene Grundsatz der Nachhaltigkeit besagt, dass nur so viel Holz eingeschlagen werden darf, wie in einem Durchschnittsjahr nachwächst (ca. 6,5 Mio  $\text{m}^3$ ). Grossflächige Kahlschläge zur Nutzung der nachwachsenden Ressource sind verboten. Eine nach Jahren der Unternutzung des Schweizer Waldes (Einschlagsmittel der letzten 20 Jahre ca. 4,1 Mio  $\text{m}^3$ ) anzustrebende, waldbaulich sinnvolle Steigerung der Holzernte auf die nachwachsende Holzmenge könnte fast zur vollständigen Deckung des gegenwärtigen Inlandbedarfs beitragen (ca. 7,5  $\text{m}^3$ )

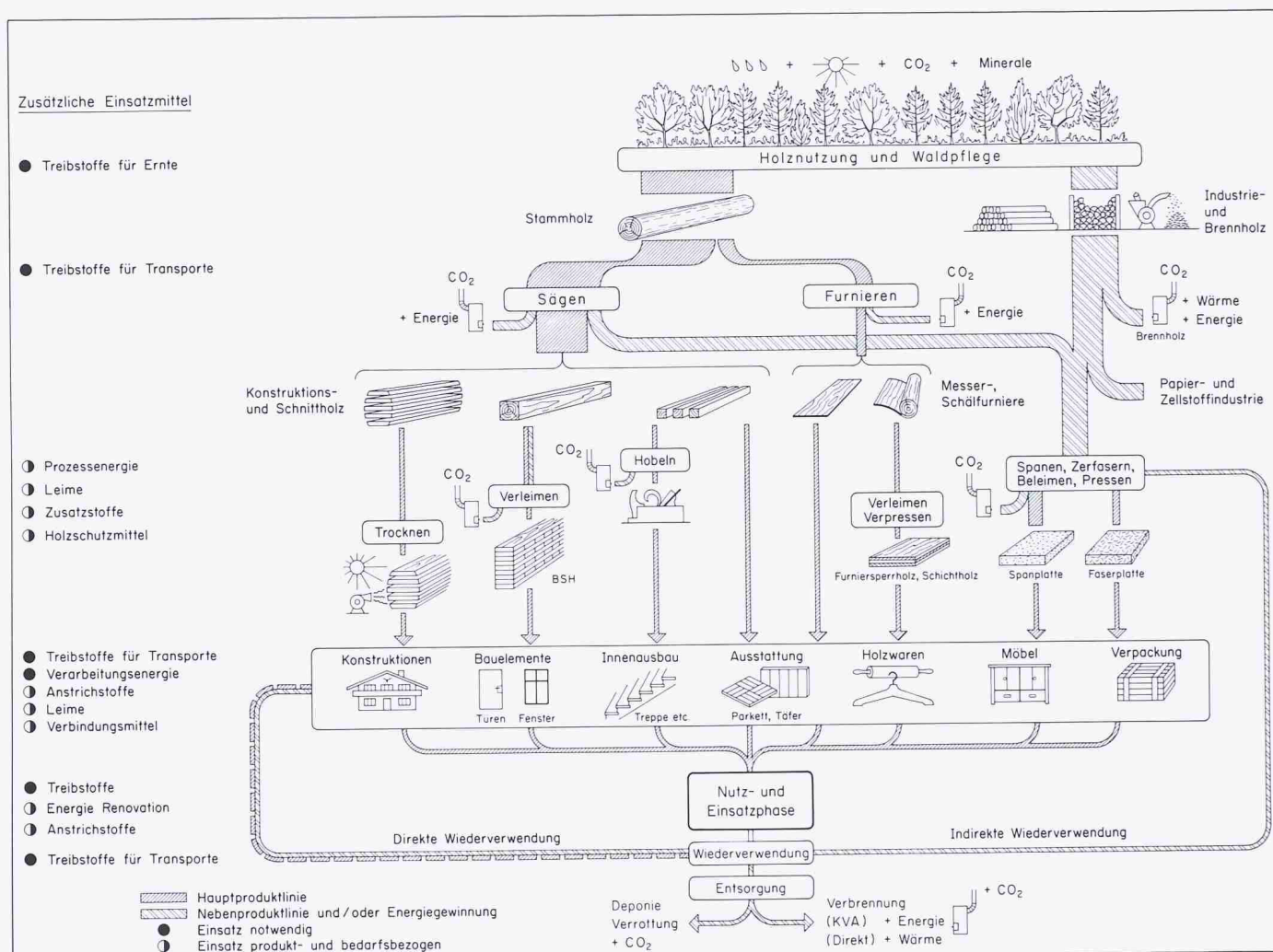


Bild 2: Materialfluss des Werkstoffs Holz unter Hervorhebung von umweltrelevanten Bearbeitungsschritten

und den damit auch ökologisch fragwürdigen Importüberschuss bei Holzprodukten abbauen. Demgegenüber müssen die meisten alternativen Ausgangsstoffe zur Werkstoff- und Energieproduktion (Eisenerz, Bauxit, Kohle, Erdöl, Erdgas, Uran) aus begrenzten ausländischen Vorkommen abgebaut und eingeführt werden. Ihre Gewinnung ist teilweise mit erheblichen Eingriffen in die Natur verbunden (Über Tagebau) oder birgt Umweltgefahren in sich (Bohrinsel- und Tankerunfälle). Ersteres gilt auch für die in der Schweiz reichlich vorhandenen Zementrohstoffe.

Die Vegetationsform Wald erbringt neben der Rohstoffproduktion vielfältige sonstige Leistungen für unsere Umwelt (Schutzfunktionen und Wohlfahrtsfunktionen). Diese lassen sich aufgrund der spärlich vorliegenden Untersuchungen noch nicht bewerten, weder geldmässig noch als Kennzahl in einer Ökobilanz. Bis auf wenige Ausnahmen stehen sämtliche dieser Funktionen nicht im Gegensatz zueinander.

Ein weiterer für das Holz positiver Aspekt ergibt sich im Hinblick auf die

im Steigen begriffene atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration, die von massgebender Bedeutung für die mittlere Lufttemperatur der Erde zu sein scheint (Treibhauseffekt). Die bei Holz ausgeglichene CO<sub>2</sub>-Bilanz – es wird bei der Holzbildung im Baum genau soviel CO<sub>2</sub> verbraucht, wie beim Abbau durch Verbrennung oder Verrottung freigesetzt wird – spricht bei Materialentscheidungen für den Holzeinsatz. Eine in verschiedenen Studien geforderte weltweite Vergrösserung der Waldfläche zur stärkeren Einbindung (Speicherung) von CO<sub>2</sub> könnte zudem der CO<sub>2</sub>-Problematik kurzfristig entgegenwirken.

### Energie-/Luftverbrauch im Produktionsprozess

Aus dem in Bild 2 dargestellten Gesamtflussbild wurden unter Berücksichtigung der umweltrelevanten Einsatzstoffe die Basisdaten für die wichtigsten Holzhalbfabrikate Nadel-schnittholz, Brettschichtholz, Spanplatte sowie harte und weiche Faserplatten ermittelt. Der Verbrauch des Rohstoffes Holz pro m<sup>3</sup> Endprodukt ist in Tabelle 2 aufgelistet.

Aus dieser Tabelle und dem Materialflussbild wird augenscheinlich, dass die Koppelproduktion ein wesentliches Merkmal in der Holzwirtschaft ist.

| pro m <sup>3</sup> Endprodukt | Verbrauch des Ausgangsprodukts                                                                                                            |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nadelschnittholz              | 1,6 m <sup>3</sup> Rundholz, davon werden 0,5 m <sup>3</sup> als Industrierestholz weiterverwertet                                        |
| Brettschichtholz              | 1,4 m <sup>3</sup> Schnittholz bzw. 2,2 m <sup>3</sup> Rundholz (davon werden 0,7 m <sup>3</sup> als Industrierestholz weiterverarbeitet) |
| Spanplatte                    | 0,85 m <sup>3</sup> Industrierestholz und 0,4 m <sup>3</sup> Waldrestholz                                                                 |
| Faserplatte hart              | 2,0 m <sup>3</sup> Industrierestholz                                                                                                      |
| Faserplatte weich             | 0,6 m <sup>3</sup> Industrierestholz                                                                                                      |

Tabelle 2. Holzverbrauch zur Produktion von Schnittholz und Holzwerkstoffen

|                   |                                | Ernte                                                    | Trans-<br>porte | Ein-<br>schnitt | Trock-<br>nung | Produk-<br>tion inkl.<br>Trock-<br>nung | Zu-<br>satz-<br>stoffe | Sum-<br>me |
|-------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------------------------------|------------------------|------------|
|                   | Dichte<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Primärenergieverbrauch (kWh)                             |                 |                 |                |                                         |                        |            |
| Nadelschnittholz  | 470                            | 30                                                       | 12              | 80              | 370            | -                                       | -                      | 492        |
| Brettschichtholz  | 450                            | 42                                                       | 40              | 112             | -**            | 1336                                    | 150                    | 1680       |
| 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                                                      | 2,4             | 0,8             | -**            | 10,0                                    | 0,4                    | 15,7       |
| Spanplatte        | 650                            | 3,0                                                      | 1,3             | -*              | -**            | 19,5                                    | 1,8                    | 25,6       |
| Faserplatte hart  | 900                            | 5,7                                                      | 3,3             | -*              | -**            | 16,1                                    | 0,5                    | 25,6       |
| Faserplatte weich | 300                            | 1,8                                                      | 1,0             | -*              | -**            | 8,1                                     | 0,7                    | 11,6       |

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

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

Tabelle 3. Primärenergieverbrauch und kritisches Luftvolumen pro m<sup>3</sup> Holzhalb-fabrikat

Grosse Teile der Sägereiesthölzer und minderwertiges Waldholz werden als Rohstoff in der Holzwerkstoffindustrie eingesetzt und zu hochwertigeren Produkten verarbeitet.

Die ermittelten Richtwerte für Energieverbrauch und Luftbelastung bis zur Stufe Halbfabrikat sind in Tabelle 3, aufgeteilt auf die wesentlichen Prozessschritte, aufgeführt.

Die Richtwerte geben mittlere Verhältnisse wieder, von denen je nach Randbedingungen Abweichungen in der Grössenordnung von 20% bis 40% – bei unveränderten Systemgrenzen – ermittelt wurden. Moderne Produktionsanlagen, die teilweise bereits betrieben werden, können entsprechend bessere Werte aufweisen. Die gewählten Randbedingungen und Angaben, die für den Nachvollzug und die detaillierte Interpretation der Daten benötigt werden, sind in einem IP-Holz-Basisbericht enthalten [1]. Nachfolgend werden die Ergebnisse kurz auf ihre grundsätzlichen Aussagen hin beleuchtet und diskutiert.

Die Bereitstellung des Rohmaterials verursacht in der Schweizer Forstwirtschaft trotz zum Teil aufwendiger Ernteverfahren im Voralpen- und Alpengebiet geringe Belastungen, da die Bedarfsdeckung in erster Linie aus regionalen Wäldern erfolgt. Bei der Verwendung von Importholz vergrössern sich diese günstigen Zahlen in Abhängigkeit von der Transportstrecke und dem Transportmittel. Beim Einschnitt wird der Energieverbrauch durch den hohen elektrischen Anteil verursacht, wodurch die Emissionen gering sind. Die mit Abstand grössten Anteile an den Verbrauchszahlen ergeben sich bei den Bereichen «Trocknung» sowie «Produktion».

Beim *Schnittholz* sind durchschnittlich 75% des gesamten Energieverbrauchs der technischen Trocknung zugeordnet; eine einheitliche Bewertung ist aus folgenden Gründen schwierig:

- der Energieaufwand der Kammertrocknung wird von vielen Faktoren bestimmt (Holzart, Anfangs- und Endfeuchtigkeit, Querschnitte, Kammervolumen, Trocknungsverfahren, Art der Wärmeerzeugung);
- eine Trocknung kann unter Umständen energiearm als Freilufttrocknung durchgeführt werden;
- die Verwendung von definiert trockenem Schnittholz ist für viele Anwendungen nicht notwendig.

Der in Tabelle 3 angegebene Richtwert basiert auf einer Mischrechnung unter Annahme der für die Schweiz realistischen Trocknungsmengen, Holzdimensionen sowie Anfangs- und Endfeuchten. Massnahmen zur Verbesserung in diesem Bereich des Ökoprofils erfordern ein teilweises Umdenken im traditionellen Produktionsprozess. Durch die Einführung von Standardquerschnitten und längere Planungszeiten im Bausektor sowie angepasste Konstruktionsarten wird vermehrte Lagerproduktion ermöglicht, wodurch die Freilufttrocknung gefördert und zudem eine bessere Trockenkammerbelastung realisiert werden könnte. Derartige Massnahmen könnten den durchschnittlichen Energieverbrauch mehr als halbieren. Bei der Luftbelastung nicht berücksichtigt sind Emissionen der Trocknerabluft (z.B. flüchtige organische Holzbestandteile), über deren qualitative und quantitative Zusammensetzung noch keine Angaben vorliegen.

Beim *Brettschichtholz* sind die Trocknung der Lamellen (Holzendfeuchte etwa 12%) sowie die Klimatisierung der Produktionshallen die wesentlichen Verursacher des Energieverbrauchs und der Luftbelastung. Gewisse Ansätze für Einsparungen ergeben sich durch Verbesserungen der Werkhallenisolation und Optimierungen im Produktionsablauf; durch Entwicklung von feucht abbindenden Harzen könnten Einsparungen bei der Lamellentrocknung erreicht werden.

Bei der Fertigung der *Spanplatten* sind die Spänetrocknung und das Heizen der Pressen die wesentlichsten Energieverbraucher. Die Anfangsfeuchtigkeit der Rohstoffe (feuchtes Waldrestholz bzw. angetrocknetes Industrierestholz) können die Energiebilanz entscheidend beeinflussen. Obwohl der Anteil der Bindemittel gewichtsmässig nur etwa 10% ausmacht, schlägt ihr Energieanteil mit gut 30% zu Buche. Die bei der Trocknung der Späne entweichenden Stäube und flüchtigen Holzinhaltstoffe können durch in naher Zukunft verfügbare Abluftreinigungsanlagen erheblich reduziert werden, die gesetzlichen Vorschriften lassen sich dann einhalten.

Bei der nach dem Nassverfahren arbeitenden *Hartfaserplattenproduktion* benötigen die Hacker, Defibratoren und Pumpen viel Strom, die hohen Temperaturen beim Pressen und Trocknen relativ viel Prozesswärme. Die sich dadurch ergebenden hohen Verbrauchszahlen pro Volumeneinheit müssen jedoch im Verhältnis zu der hohen Materialdichte von 900 kg/m<sup>3</sup> gesehen werden. Bei spezifischen Anwendungen der Hartfaserplatte sind in der Regel geringere Dicken erforderlich und damit insgesamt mit anderen Anwendungen vergleichbare Massen. Ein Vorteil der Hartfaserplattenproduktion besteht darin, dass für die Herstellung keine Leimharze erforderlich sind, weil die hohen Temperaturen und Pressdrucke eine Erweichung und anschliessende Verbindung der Holzbestandteile untereinander erzielen. Ähnliches gilt auch für die Herstellung der zur Isolation eingesetzten *Weichfaserplatten*. Der mit 20% ermittelte Anteil an Zuschlagsstoffen ist durch die Zugabe von Hydrophobierungsmitteln begründet, welche die Einsatzmöglichkeiten der normalen Weichfaserplatten beträchtlich erweitern.

### Wasser- und Bodenbelastung beim Produktionsprozess

Die Belastung des Wassers und Bodens bei der Holzernte, z.B. durch Kettenöle von Motorsägen oder durch bei der Holzlagerung im Wald eingesetzte Schutzmittel, hat seit der Einführung

von pflanzlichen, leicht abbaubaren Kettenölen und der restriktiven Verwendung von Holzschutzmitteln abgenommen. Durch rasche Abfuhr des Rundholzes und Verlagerung der Entzündung auf die Waldstrasse oder in die Sägerei lassen sich weitere Verbesserungen erzielen. In den Holzindustriebetrieben können in der Regel alle anfallenden Belastungen (Trocknerkondensate, Leimreste, Waschwasser, Holzschutzmittel, Fette, Öle) zentral gesammelt und entsprechend den Vorschriften aufbereitet bzw. entsorgt werden. In den beiden Schweizer Faserplattenwerken wird mit einem geschlossenen Wasserkreislauf gearbeitet, so dass hier praktisch keine Belastungen auftreten.

### Umweltauswirkungen bei der Montage, Nutzung und Entsorgung

Das insgesamt günstige Gewichts-/Festigkeitsverhältnis von Holzprodukten sowie ihre leichte Bearbeitbarkeit sind technologisch wie auch ökologisch vorteilhaft zu werten. In einer Überschlagsrechnung wurde der Energieverbrauch für die Holzanwendung am Bau (z.B. für den Dachstuhl eines Einfamilienhauses mit 4 bis 5 m<sup>3</sup> Konstruktionsholz) mit etwa 150 bis 200 kWh/m<sup>3</sup> Holz, die Luftbelastung mit 4 bis 5 Mio m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> Holz vergleichsweise günstig ermittelt.

Die ausschliesslich für bestimmte Anwendungsbereiche nötigen Massnahmen zur Veredlung der Oberflächenqualität und zur Verbesserung der Witterungsbeständigkeit stehen ökologisch gesehen im folgenden Spannungsfeld:

Einer Belastung der Umwelt bei Applikation, Erneuerung und Entsorgung stehen eine wesentliche Verlängerung der Standzeit und die Vermeidung von frühzeitigen Auswechselungen gesamter Bauteile (Einsparung von Ressourcen) gegenüber. Hier müssen alle konstruktiv-technischen Massnahmen ausgeschöpft werden, um die Lebensdauer eines Bauteils zu vergrössern. Erweisen sich Schutzmassnahmen als nötig, so sollten Produkte und Verfahren ausgewählt werden, die eine möglichst geringe Belastung von Mensch und Umwelt zur Folge haben. Auf dem Produktesektor bieten sich schwermetallfreie Holzschutzmittel, wasserlösliche Farben und für den Innenbereich Holzpflegemittel an, während bei den Applikationsverfahren insbesondere für Holzschutzbehandlungen die industriellen Kesseldruckimprägnierungen unter kontrollierten, gesetzlich überwachten Bedingungen erfolgen. Letztere sind hinsichtlich der Umweltbelastung weniger kritisch zu bewerten als kleingewerbliche oder private Anwendungen (Streichen, Tauchen oder Spritzen).

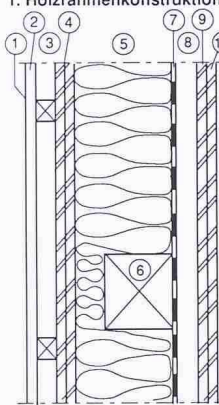
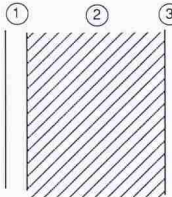
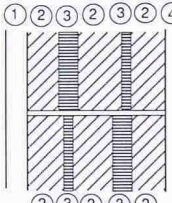
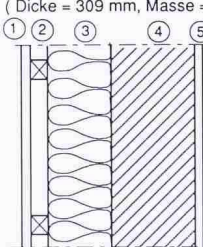
| Aussenwandkonstruktionen                                                                                                                                                          |  | k-Wert<br>W / m <sup>2</sup> K | Schall-<br>dämmwert<br>R <sub>w</sub> | Primäre<br>Energie<br>kWh | Luftver-<br>brauch<br>10 <sup>3</sup> · m <sup>3</sup> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                   |  | pro m <sup>2</sup> Wand        |                                       |                           |                                                        |
| <b>1. Holzrahmenkonstruktion</b> (Dicke = 232 mm, Masse = 79 kg/m <sup>2</sup> )<br>             |  | 0,32                           | 50                                    | 234                       | 1333                                                   |
| <b>2. Backsteinwand</b> (Dicke = 510 mm, Masse = 606 kg/m <sup>2</sup> )<br>                     |  | 0,39                           | 52                                    | 465                       | 2473                                                   |
| <b>3. Isomodul - Super</b> (Dicke = 390 mm, Masse = 407 kg/m <sup>2</sup> )<br>                 |  | 0,40                           | 50                                    | 398                       | 2770                                                   |
| <b>4. Aussengedämmte Backsteinwand</b><br>(Dicke = 309 mm, Masse = 264 kg/m <sup>2</sup> )<br> |  | 0,39                           | 55                                    | 238                       | 1027                                                   |

Bild 3. Vergleich von 4 Aussenwandaufbauten hinsichtlich Energieverbrauch und Luftbelastung; Berechnung unter Einbezug von Daten aus [1], [3], [4] und [5]

Die Umweltbelastungen während der Gebrauchsdauer eines Holzbauteils konzentrieren sich auf Renovationsarbeiten (Oberflächenbehandlungen) der wetterexponierten Seiten, die je nach Beanspruchung und Anstrichtyp etwa alle drei bis zehn Jahre durchzuführen sind. Dabei gelten die gleichen Prinzipien wie bei der Erstapplikation. Am Ende der Gebrauchsphase können Holzbauteile recycelt oder müssen verbrannt bzw. deponiert werden. Grundsätzlich ist es sinnvoll, eine direkte (als Massivholz) oder indirekte (als Span- und Faserstoff; siehe Bild 2) Wiederverwendung anzustreben. Gegenwärtig werden vom jährlichen Altholzaufkommen (rund 1,5 Mio m<sup>3</sup>) nur etwa 6% recycelt [2]. Dieser Anteil könnte gesteigert werden, wenn im

Bauwesen mehr genormte Querschnitte verwendet würden, die leicht auswechselbar und zerlegbar sein müssen. Beim Verbrennen von Resthölzern wird die holzspezifische Wärmeenergie nutzbar - und kann als Gutschrift in der Energiebilanz berücksichtigt werden. Bei angestrichenem und chemisch behandeltem Holz muss die Verbrennung in Öfen erfolgen, die zur Einhaltung der Emissionsgrenzwerte eine optimale Ausbrandqualität gewährleisten (z.B. automatisch beschickte Verbrennungsanlagen der Holzindustrie bzw. Kehrichtverbrennungsanlagen) und über eine Rauchgasreinigungsanlage verfügen. Eine entsprechende Sortierung und Zerkleinerung drängt sich auf. Neben der energetischen Nutzung bewirkt die kontrollierte Verbrennung zudem

| Bereich                              | Massnahme (Beispiele)                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Beurteilung bezüglich Realisierung                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Holzernte                            | auf das Notwendige beschränkter Einsatz von Frostschutzmitteln<br>Verwendung von Motorsägenkettenölen auf Pflanzenbasis<br>Entwicklung von emissionsarmen Seilwinden<br>rasche Aufarbeitung und schnelle Abfuhr der Sortimente<br>Beregnung/Wasserlagerung, z.B. bei Schadholzanfall, oder konsequente Trockenlagerung | bei normaler Witterung und Einschlagsmenge möglich<br>z.T. gesetzlich vorgeschrieben, weitgehend realisiert<br>technisch möglich<br>bei normalen Bedingungen möglich, organisationsabhängig<br>setzt entsprechende örtliche Gegebenheiten voraus |
| Sägerei                              | Verwendung von Schmierstoffen auf Pflanzenbasis<br>Ausnutzung der sägetechnischen Entwicklungen                                                                                                                                                                                                                        | Angebot vorhanden, weitgehend realisiert<br>abhängig vom Investitionsvolumen                                                                                                                                                                     |
| Holztrocknung                        | Kombination von Freiluft- und Kammer-trocknung<br>Ausnutzung der Solarenergie<br><br>sachgemässe Beladung und Steuerung der Kammern<br>Bevorzugung kleiner Querschnitte<br>Einführung von Standardquerschnitten                                                                                                        | Platz- und Organisationsfrage, vielfach bereits realisiert<br>in der Schweiz noch nicht eingeführt, Forschungsbedarf<br>Ausbildungsfrage, ökonom. Anreiz<br>Planungs- und Organisationsfrage<br>Planungs- und Organisationsfrage                 |
| BSH-Produktion                       | Gute Isolation der Produktionshallen<br>Vermeidung von Leimverlusten, geschlossene Kreisläufe<br>Verwendung von feucht-abbindenden Leimen<br>Verwendung von Leimen auf Rinden bzw. Ligninbasis                                                                                                                         | technisch möglich, teilweise realisiert<br>grossteils realisiert<br>noch nicht möglich, Forschungs- und Entwicklungsbedarf<br>gute Forschungsansätze, Umsetzung noch ungenügend                                                                  |
| Spanplatten-Prod.                    | Verwendung vorgetrockneter Rohstoffe<br>Einsatz neuer Abluft-Reinigungssysteme<br><br>Verwendung von Bindemitteln auf Rinden-/Ligninbasis<br>geschlossene Leimkreisläufe<br>Recycling der Spanplatten (Rücknahme)<br>Begrenzung der Formaldehydemissionen                                                              | bei Industrierestholz möglich<br>Angebot vorhanden, z.T. realisiert, grenzwertabhängig<br>gute Forschungsansätze, Kosten noch zu hoch<br>grossteils realisiert<br>teilweise realisiert<br>in Schweizer Produkten durchgehend realisiert          |
| Faserplatten-Prod.                   | Verwendung von Zusatzstoffen auf Pflanzenbasis<br>geschlossene Wasserkreisläufe                                                                                                                                                                                                                                        | Forschungsbedarf<br>in Schweizer Werken realisiert                                                                                                                                                                                               |
| Holzanwendung                        | Anwendung eines sinnvollen Holzschutzkonzeptes<br>Verwendung industriell imprägnierter Hölzer im Aussenbereich<br>Verwendung gesundheits- und Umweltverträglicher Anstrich-/Imprägniermittel                                                                                                                           | ohne Mehraufwand möglich, vielfach realisiert, Aufklärungs-/Ausbildungsfrage<br>in der Schweiz ist Angebot vorhanden<br>Angebot ist vorhanden, teilweise noch Forschungsbedarf                                                                   |
| Holzgebrauch                         | Frühzeitige und angemessene Renovationen<br>Beachten der direkten und indirekten Energieaufwendungen                                                                                                                                                                                                                   | Aufklärungs-/Bewusstseinsfrage<br>Aufklärungs-/Bewusstseinsfrage                                                                                                                                                                                 |
| Holzwiederverwendung bzw. Entsorgung | Steigerung des Wiederverwendungsanteils<br><br>Verbrennung von chemisch modifizierten Abfällen in KVA<br>Keine freie Verbrennung von chemisch modifizierten Abfällen                                                                                                                                                   | Organisationsfrage, Schaffen von Lösungsmöglichkeiten<br>gesetzlich vorgeschrieben, Vollzug noch ungenügend<br>Bewusstseinsfrage                                                                                                                 |
| Holzenergienutzung                   | Verbrennung/Heizwertnutzung in emissionsarmen Feuerungen                                                                                                                                                                                                                                                               | technisch möglich, teilweise realisiert                                                                                                                                                                                                          |
| Holztransporte                       | Verlagerung von der Strasse auf die Schiene<br><br>Bedarfsdeckung in Region                                                                                                                                                                                                                                            | vielerorts möglich, Organisationsfrage<br>Angebots- und Bewusstseinsfrage                                                                                                                                                                        |

Tabelle 4. Beispiele für Massnahmen zur Verbesserung des Ökoprofils und Beurteilung ihrer Realisierungsmöglichkeiten

eine erhebliche Verminderung des Deponievolumens (zurzeit werden noch 23% des Altholzaufkommens deponiert [2]). Der Ascheanteil bei Vollholz liegt zwischen 0,5 und 1 Vol%, so dass im Falle von chemisch verunreinigten Aschen verhältnismässig geringe Anteile wirklich entsorgt werden müssen. Die Verbrennungsrückstände von unbehandelten Hölzern sind wegen des hohen Mineralstoffgehalts dagegen als Düngemittel verwertbar.

Ein weiteres ökologisch positives Argument betrifft die Ressourcenschonung: Der Einsatz von geringwertigen Waldholzqualitäten und Resthölzern der Holzverarbeitung in der Holzwerkstofffabrikation (Koppelproduktion) macht zusammen mit den aufgezeigten Recyclingmöglichkeiten und der energetischen Schlussverwertung eine nahezu hundertprozentige Rohstoffausnutzung möglich.

### Beispiel Wandkonstruktionen

Ein wesentliches Ziel von Ökobilanzen ist es, im Vergleich zwischen Produkten mit ähnlichen Eigenschaften aus verschiedenen Materialien relative Aussagen über die Umweltverträglichkeit der Produkte zu erhalten. Mit der Beschränkung auf den Energieverbrauch und die Luftbelastung für die Herstellung der eingesetzten Materialien wurde ein solcher Vergleich beispielhaft für vier verschiedene Aussenwandkonstruktionen mit vergleichbarem Wärme- bzw. Schallisolationswert errechnet (vgl. Bild 3).

Das Beispiel zeigt, dass die vorwiegend aus Holzhalbfabrikaten gefertigte Rahmenkonstruktion und die aussengedämmte Backsteinwand die günstigsten Werte aufweisen. Darüber hinaus weist die Holzwand sowohl von ihrem Flächengewicht als auch hinsichtlich der Dicke die mit Abstand geringsten Werte auf. Diese Angaben wirken sich auf die Belastungen beim Transport der Halbfabrikate auf die Baustelle, die Verarbeitungsenergie und auch auf die Umweltbelastungen beim späteren Abbruch der Bauteile positiv aus. Insgesamt kann somit die Holzrahmenbauweise anhand der hier zugrunde gelegten Beurteilungsgrössen als ökologisch ausgesprochen günstig eingestuft werden.

### Beurteilung der Ergebnisse

Mit den erarbeiteten Basisdaten können Teilbereiche im Fertigungsprozess der Holzwirtschaft unter ökologischer Fragestellung erstmals näher untersucht und bewertet werden. Der Einbezug sowohl von Schnittholz als auch von Holzwerkstoffen führte wegen der oben aufgeführten Zusammenhänge zu

**Literatur**

- [1] Impulsprogramm Holz, Bundesamt für Konjunkturfürfragen 1989. Untersuchungen zur Ökobilanz von Holz als Baustoff. Schlussbericht. 33 S. + Anhang
- [2] Stahel, R., Schuler, B., Ledergerber, E. 1987. Altholz, eine vernachlässigte Ressource. Verlag Ruegger, 125 S.
- [3] Kohler, N. 1986. Analyse énergétique de la construction, de l'utilisation et de la démolition de bâtiments. Thèse EPFL und persönliche Angaben
- [4] Marmé, W., Seeberger, J. 1982. Der Primärenergiegehalt von Baustoffen. Bauphysik 155-160, 208-214
- [5] Studentenarbeitsgruppe Wärmedämmstoffe. 1989. Wärmedämmstoffe. Versuch einer ganzheitlichen Betrachtung. Ing.-Schule beider Basel, Nachdiplomstudium Energie. 46 S.

unterschiedlich hohen Energieverbrauchs- und Luftbelastungswerten. Es wäre falsch, daraus auf eine Polarisierung innerhalb der Holzproduktepalette zu schliessen. Gerade die engen Materialverknüpfungen in der Holzwirtschaft (Koppelproduktion, Altholzrecycling) und die produktspezifischen Anwendungsbereiche von Vollholz, Brettschichtholz und Holzwerkstoffplatten weisen für das gesamte Spektrum von Holzprodukten auch bei ökologischen Betrachtungen gute Eigenschaften aus. Dies um so mehr, als man beim Holz zusätzlich noch eine Reihe nicht quantifizierbarer Fakten mit in eine Bewertung einbeziehen kann. Das zeigt sich auch am Beispiel des Wandvergleichs, wo das aus verschiedenen Holzprodukten erstellte Element günstige Werte erreicht. Aus den dennoch nicht unerheblichen Verbrauchswerten zur Herstellung des hochentwickelten Wandbauteils darf nicht der Schluss gezogen werden, durch Nutzung von einfacheren, «naturbelassenen» Materialien und ohne den Einsatz von Hilfsmitteln ökologisch vorteilhafter bauen zu können. Sicher wären die Energie- und Luftbelastungswerte zur Erstellung beispielsweise eines Blockhauses aus Rundhölzern um den Faktor 50 geringer als bei einem Haus in Holzrahmenkonstruktion. Durch die jährlich einzusetzende Nutzenergie wäre dieser *Vorteil aber schon nach rund vier Jahren aufgebraucht* (und bei einer Nutzungsperiode von 40 Jahren läge der Energie-

vorteil des modernen, hoch wärmegeämmten Holzrahmenbaus bei rund 1 Gigawattstunde). Ähnliche Vorteile sind durch die bei der Energie-Erzeugung freiwerdenden Emissionen auch für die Luftbelastung anzunehmen, so dass sich die ökologische Überlegenheit von modernen Bauweisen bei Mitbeachtung der wichtigen Nutzungsphase eindeutig demonstriert.

**Verbesserungsmassnahmen**

Ein wichtiges Ziel von Ökobilanzbetrachtungen, das Aufzeigen von weiteren Verbesserungs- und Optimierungsmöglichkeiten, konnte mit der Studie erreicht werden. Sie sind in Tabelle 4 zusammengefasst und bezüglich ihrer Realisierungschancen kommentiert.

Neben der Durchführung dieser Massnahmen in der Praxis müssen weitere Bemühungen darauf abzielen, die für eine ganzheitliche Ökobilanzierung von Holzprodukten noch fehlenden Bewertungsgrundlagen und damit die Vergleichbarkeit zu verbessern. Mit genaueren Daten aus den wichtigen Bereichen Rohstoffinput, Nutzung und Entsorgung können ganze Produktlinien untersucht und im eigentlichen Sinn ganzheitlich bewertet werden. Die daraus ableitbaren Erkenntnisse können dazu beitragen, neben den Herstellern auch die Verbraucher aufzuklären und damit das Eigenschaftsprofil von Holzprodukten hinsichtlich der ökologischen Auswirkungen zu verbessern.

**Ausblick und Anregungen**

Ganzheitliche Untersuchungen zu den ökologischen Qualitäten von Produkten werden zukünftig bei der Entscheidung über die Wettbewerbsfähigkeit eine verstärkte Rolle spielen. Mit der Methode der Ökobilanzierung können wesentliche Umweltauswirkungen von Produktionsprozessen quantitativ erfasst und vergleichbar gemacht werden. Um die weitgesteckten Ziele derartiger Studien erreichen zu können, sind noch grosse Forschungsbemühungen nötig; diese sollten sich an folgenden Schritten orientieren:

□ Zunächst müssen die Vorgehensweisen zur Bewertung von Abläufen bei der Wahl der Systemgrenzen vereinheitlicht werden;

In der Arbeitsgruppe des Impulsprogrammes Holz wirkten mit: M. Hänger, H.R. Streiff (Basler & Hofmann AG), Dr. N. Kohler (EPFL), Dr. J. Marti (Amt für Umweltschutz des Kantons Glarus), Dr. K. Richter (EMPA-Dübendorf). Weitere Anregungen und Beiträge: Projektleitungsteam und Kommission IP Holz.

□ aufbauend auf diesen Grundlagen sollen Basisdaten für eine Vielzahl von Materialien und Produkten erarbeitet werden;

□ die herstellungs- und produktespezifischen Erkenntnisse werden dazu eingesetzt, den betreffenden Industrien umweltrelevante Verbesserungen aufzuzeigen;

□ der Einbezug speziell der Auswirkungen bei Nutzung und Entsorgung dient zur Aufklärung der Verbraucher. Diese können durch belegbare Informationen angehalten werden, Umweltaspekte nicht nur durch eine entsprechende Produktauswahl, sondern auch durch ihr Verhalten beim Gebrauch und beim Entscheid über die Entsorgung vermehrt zu beachten.

Die vorgestellte Untersuchung zu Teilspekten einer Holz-Ökobilanz ist ein erster Schritt zu einer umfassenden Betrachtungsweise. Bis zur Berücksichtigung aller umweltrelevanten Bereiche bedarf es konkreter Forschungsarbeiten, die in enger Zusammenarbeit mit Instituten aus den Bereichen der Wald-, Holz- und Umweltforschung sowie der betroffenen Industrie angegangen werden sollten. Gleichzeitig aber sind *andere Baumaterialverbände aufgefordert, dem Beispiel der Holzwirtschaft zu folgen* und ähnliche Untersuchungen für ihre Produkte voranzutreiben. Nur so können ökologische Optimierungen erkannt und durchgesetzt werden, die in ihrer Gesamtheit dem Menschen und seiner Umwelt dienen.

Adresse der Verfasser: K. Meier, dipl. Ing. ETH/SIA/ASIC, und H.R. Streiff, dipl. Forsting. ETH/SIA, Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG, Forchstraass 395, 8029 Zürich; K. Richter, Dr. rer. nat., und J. Sell, Dr. sc. techn., Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Abteilung Holz, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf.