

# Welches sind die ökologischsten Holzverwendungen?

**Bernhard Steubing**

**Florian Suter**

**Niko Heeren**

**Abhishek Chaudhary**

**York Ostermeyer**

**Stefanie Hellweg**

ETH Zürich, Institut für Umweltingenieurwissenschaften, Gruppe Ökologisches Systemdesign (CH)\*

ETH Zürich, Institut für Umweltingenieurwissenschaften, Gruppe Ökologisches Systemdesign (CH)

ETH Zürich, Institut für Umweltingenieurwissenschaften, Gruppe Ökologisches Systemdesign (CH)

ETH Zürich, Institut für Umweltingenieurwissenschaften, Gruppe Ökologisches Systemdesign (CH)

Chalmers University of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering (SE)

ETH Zürich, Institut für Umweltingenieurwissenschaften, Gruppe Ökologisches Systemdesign (CH)

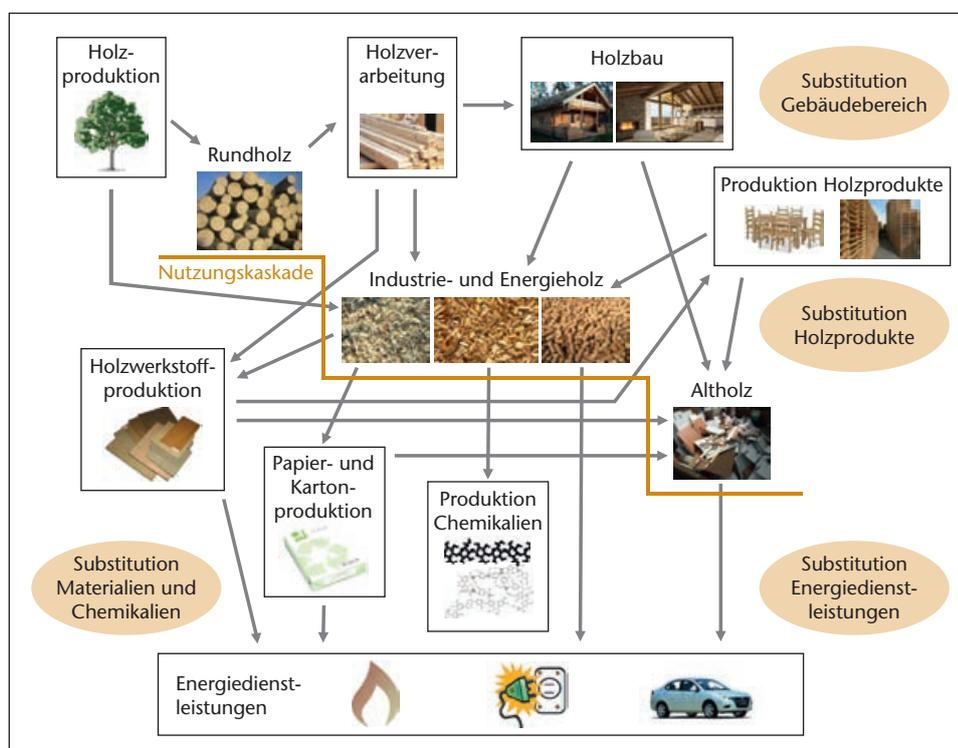
Holz begegnet uns in verschiedensten Formen und Anwendungen im Alltag. Neben seiner Multifunktionalität im Einsatz hat Holz das Potenzial, den ökologischen Fussabdruck unserer Gesellschaft zu verkleinern. Aus ökologischer Sicht stellt sich die Frage nach der sinnvollsten Verwendung von Holz und den ökologischen Vor- und Nachteilen einer mehrfachen Verwendung (Kaskadennutzung). Eine geeignete Methodik zur Abschätzung der Umweltauswirkungen von Produkten oder Dienstleistungen über den gesamten Lebenszyklus hinweg bietet die Ökobilanzierung. Im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes «Ressource Holz» (NFP 66) wird der Umweltnutzen der Verwendung von Holz für verschiedene Zwecke analysiert.

doi: 10.3188/szf.2015.0335

\* John-von-Neumann-Weg 9, CH-8093 Zürich, E-Mail steubing@ifu.baug.ethz.ch

Im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes «Ressource Holz» (NFP 66) wird die Frage nach den aus Umweltsicht besten Holzverwendungen untersucht.<sup>1</sup> Ziel ist die Entwicklung von Strategien für ein nachhaltiges Management der Ressource Holz in der Schweiz.

Dass dies kein einfaches Vorhaben ist, zeigt Abbildung 1: Holz ist ein vielseitiger Rohstoff mit den unterschiedlichsten materiellen und energetischen Verwendungsmöglichkeiten. Eine gesamthafte Modellierung aller Materialflüsse, welche Tausende von Produkten betreffen, sowie der damit verbundenen ökologischen Konsequenzen ist aufgrund fehlender Datengrundlagen zurzeit nicht möglich. Der Ansatz ist daher ein zweistufiger: Wichtige Teilmärkte, wie die Verwendung von Holz in Gebäuden und für Energie, werden zunächst in detaillierten Modellen separat untersucht. Anschliessend werden die besten Varianten zur Holzverwendung in den einzelnen Sektoren in einem Gesamtmodell abgebildet. So können einer-



**Abb 1** Vereinfachte Darstellung der Wertschöpfungskette Holz. Je nach Holzverwendung können andere Produkte substituiert werden, woraus unter dem Strich ein ökologischer Nutzen entstehen kann. Bei mehrfacher Nutzung desselben Holzes spricht man von einer Kaskadennutzung.

seits relevante Fragestellungen für einzelne Sektoren beantwortet und andererseits Strategien für eine gesamthafte optimale Holzverwendung abgeleitet werden. Hierzu zählt zum Beispiel die Frage, unter

welchen Voraussetzungen eine Kaskadennutzung, d.h. eine mehrfache zunächst stoffliche und anschliessend energetische Nutzung von Holz, ökologisch sinnvoll ist. Ebenfalls sind mögliche Substitutionsef-

<sup>1</sup> Die hier geschilderte Arbeit findet im Rahmen des Projekts «Ökologische Nutzung der Holzressourcen in der Schweiz» statt. Beteiligt sind die ETH Zürich, die Universität Chalmers, die Geo Partner AG und die Aveny GmbH.

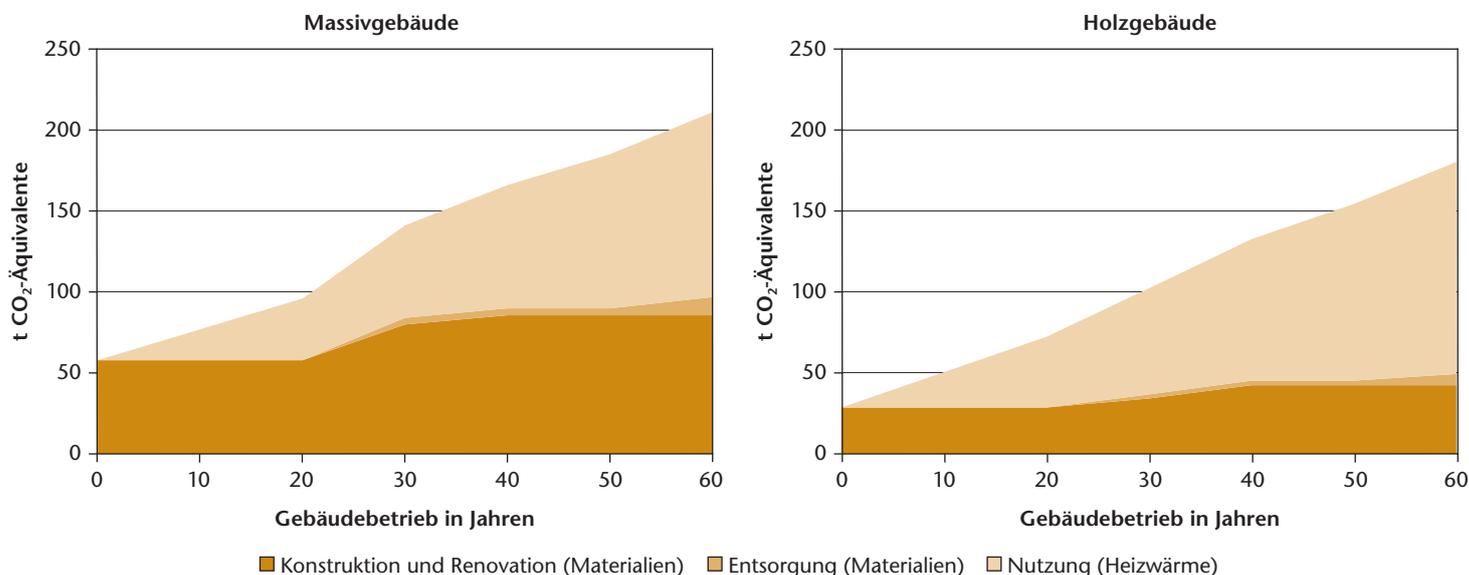


Abb 2 Beispiel für die Auswirkungen auf den Klimawandel (Treibhausgasemissionen) durch Material- und Energieaufwände über den Lebenszyklus eines Massivgebäudes (links) und eines Holzgebäudes (rechts) mit je 210 m<sup>2</sup> Wohnfläche.

fekte zu berücksichtigen, d.h., welche Produkte durch den Einsatz von Holz ersetzt werden und was der daraus resultierende ökologische Vorteil ist.

Für die Bewertung der ökologischen Auswirkungen beziehungsweise des ökologischen Vorteils der Holzverwendung wird die Methode der Ökobilanzierung verwendet. Eine Ökobilanz bewertet die über den gesamten Lebenszyklus eines Produkts anfallenden Ressourcenverbräuche und Emissionen mittels verschiedener Indikatoren, zum Beispiel Auswirkungen auf den Klimawandel, Biodiversitätsverlust oder gesundheitliche Auswirkungen (z.B. durch Feinstaubemissionen; ISO 14044: 2006). Während einige dieser Indikatoren ausgereift und etabliert sind, sind andere Umweltauswirkungen in Ökobilanzen bisher nicht oder nur ansatzweise berücksichtigt (Steubing 2013). Zwei für die Holzverwendung relevante Indikatoren wurden deshalb im Rahmen des Projektes weiterentwickelt: Sie bewerten die Auswirkungen der Waldbewirtschaftung auf die Biodiversität und die Effekte von Innenraumemissionen aus Baustoffen und Produkten aus Holz auf die Gesundheit. Im Folgenden werden die Ergebnisse der bisherigen Arbeiten beschrieben.

### Biodiversitätsverlust

Die Nutzung von Holz und der damit verbundene Eingriff in das Ökosystem Wald bleiben nicht ohne Auswirkungen. Eine Metaanalyse von 360 wissenschaftlichen

Studien (Chaudhary et al, submitted)<sup>2</sup> stellte in bewirtschafteten Wäldern eine um durchschnittlich 20% geringere Artenvielfalt fest als in naturbelassenen Wäldern. Besonders Monokulturen und Waldflächen, die im Kahlschlagverfahren bewirtschaftet werden, weisen eine starke Artenreduktion auf, während die Beeinträchtigungen in Wäldern, die mit selektiven Ernteverfahren genutzt werden, geringer ausfallen. Die Holznutzung in tropischen Wäldern zeigt sehr viel grössere Umweltwirkungen als in gemässigten Breitengraden, da oftmals eine grössere Vielfalt an gefährdeten Arten vorliegt und der Holzertrag kleiner ist. Im internationalen Vergleich sind daher die Biodiversitätsauswirkungen von Schweizer Holz relativ gering. Der Import von Holz und Holzprodukten aus anderen Regionen kann aber, je nach Herkunft, mit einem höheren Biodiversitätsverlust verbunden sein. Da die Holznutzung in der Schweiz mengenmässig stark von Importen und Exporten geprägt wird, wird dieser Aspekt im weiteren Projektverlauf noch eingehender untersucht.

### Holzeinsatz in Gebäuden

Um die Umweltwirkungen der Holzverwendung in Gebäuden detailliert untersuchen zu können, wurde ein Modell zur Berechnung von Material- und Energieaufwand von Gebäuden in Massivbauweise (Beton oder Backstein) sowie von Holzgebäuden über den gesamten Lebenszyklus (d.h. Konstruktion, Nutzung

und Rückbau) entwickelt (Heeren et al, submitted).<sup>3</sup> Bei allen Vergleichen zwischen den beiden Bauweisen wurden jeweils die gleichen Annahmen in Bezug auf Funktionalität, Nutzerverhalten und Dämmstandard (U-Wert) zugrunde gelegt. Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse wurden rund 20 Parameter variiert, zum Beispiel Klima, Fenstergrösse oder U-Wert. Die Ergebnisse zeigen, dass Holzgebäude im Durchschnitt bis zu 5% mehr Heizenergie benötigen als Massivgebäude. Dies liegt vor allem daran, dass Holzgebäude aufgrund der geringeren thermischen Masse weniger Energie speichern können als Massivgebäude. Der Effekt macht sich in unserer Klimazone vor allem bei den Temperaturschwankungen zwischen Tag und Nacht im Frühling und im Herbst bemerkbar. Abhängig ist dies von Faktoren wie dem Klima, der Ventilation oder dem Solareintrag. In der Regel wird jedoch der energetische Mehraufwand bei Holzgebäuden durch den ökologischen Vorteil des Baumaterials Holz (über-)kompensiert (Abbildung 2). Es ist zudem davon auszugehen, dass sich die gesetzlich vorgeschriebenen Energieeffizienzstandards von Gebäuden weiter verschärfen werden. Bei einer sinkenden Be-

2 CHAUDHARY A, VERONES F, DE BAAN L, HELLWEG S (SUBMITTED) Quantifying land use impacts on biodiversity: combining species-area models and vulnerability indicators.

3 HEEREN N, MUTEL C, STEUBING B, OSTERMEYER Y, WALLBAUM ET AL (SUBMITTED) Environmental impact of buildings – what matters?

deutung des Wärmebedarfs fällt die Bilanz für den Baustoff Holz zunehmend positiv aus.

Im weiteren Projektverlauf ist beabsichtigt, die ökologischen Auswirkungen einer vermehrten Holzverwendung im gesamtschweizerischen Gebäudepark zu untersuchen. Hierfür wurde eine spezielle bauteilbasierte Datenbank entwickelt (Ostermeyer et al, submitted).<sup>4</sup> Diese gibt Auskunft über die Materialzusammensetzung des Schweizerischen Gebäudebestands und den, je nach Gebäudetyp, zur Verfügung stehenden Sanierungsoptionen. Anhand dieser Typologie werden die bestehenden Materialmassen sowie die resultierenden Massenströme abgeschätzt und im Modell ökologisch bewertet. Hierbei wird ebenfalls auf die Wechselwirkung von Material- und Energiebedarf eingegangen. Auf diese Weise können verschiedene Szenarien, wie beispielsweise vermehrter Neubau in Holz, untersucht und entsprechende Empfehlungen für Politik und Bauwirtschaft abgeleitet werden.

Ein spezifischer Fokus wird auf die Bewertung der gesundheitlichen Wirkungen durch Baustoffe und Möbel aus Holz gelegt. Holz enthält leichtflüchtige organische Kohlenstoffverbindungen (VOC) wie Terpene und Aldehyde. Zusätzlich werden bei der Produktion von Holzprodukten oft formaldehydhaltige Bindemittel eingesetzt. Im Rahmen des Projektes wurden aus über 50 Studien Emissionsdaten zu leichtflüchtigen organischen Kohlenwasserstoffen aus fünf gängigen Holzwerkstoffen (Spanplatte, MDF, Sperrholz, OSB und Massivholz) zusammengetragen. Anschliessend wurden die Exposition und die daraus resultierenden gesundheitlichen Auswirkungen analysiert (Chaudhary & Hellweg 2014). Die Ergebnisse zeigen, dass Massivholz generell die geringsten gesundheitsschädlichen Auswirkungen aufweist. Für die anderen Holzwerkstoffe sind die Wirkungen im Durchschnitt höher. Eine Generalisierung ist allerdings kaum möglich, da die gesundheitlichen Effekte stark von der individuellen Behandlung des Holzproduktes, dessen Alter sowie der Verweildauer von Personen und

der Ventilationsrate in einem Gebäude abhängig sind. Gesundheitsrisiken können gezielt vermieden werden, etwa durch die Wahl von Holzprodukten mit emissionsarmen Klebmitteln oder durch vermehrtes Lüften während der ersten Monate der Gebäudenutzung.

### Holzenergie

Holz kann grundsätzlich verschiedene Energiedienstleistungen erbringen, zum Beispiel Wärme, Strom und, durch Weiterverarbeitung zu Treibstoffen wie synthetischem Erdgas oder Biodiesel, auch Transport. Vor dem Hintergrund, dass Holz fossile Energieträger ersetzen kann und eine knappe Ressource ist, erweisen sich folgende Faktoren als massgeblich für einen hohen ökologischen Nutzen (Steubing 2013):

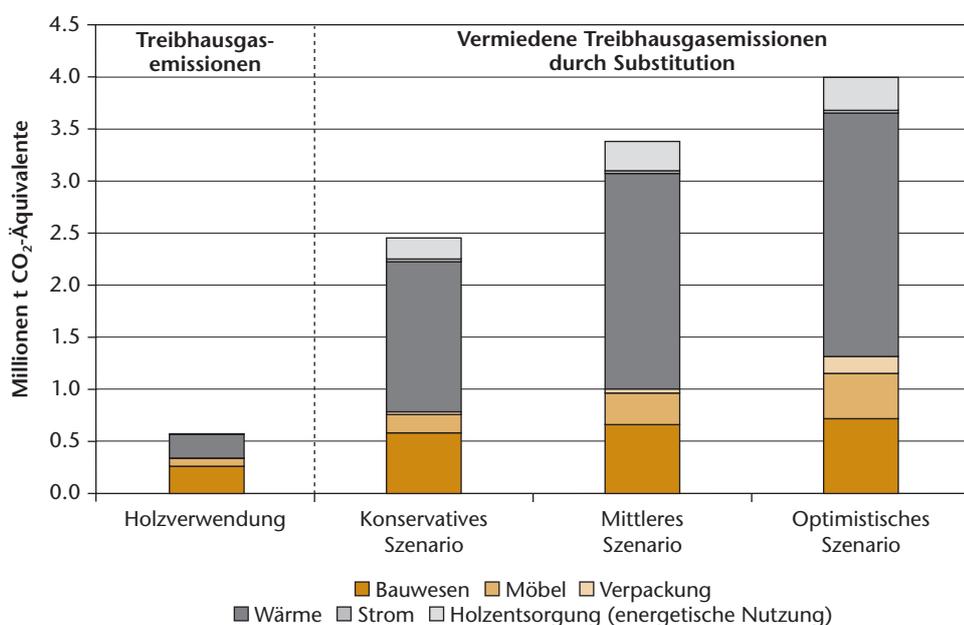
- Substitution: Der Einsatz von Holz ist dort am sinnvollsten, wo Energieträger mit hohen Umweltauswirkungen ersetzt werden können (z.B. Kohle, Heizöl, Erdgas).
- Effizienz: Hohe Umwandlungseffizienzen von Primär- zu Nutzenergie sind entscheidend für eine effiziente Ressourcennutzung und eine hohe Substitutionswirkung.
- Luftschadstoffe: Eine möglichst vollständige Verbrennung des Holzes sollte sichergestellt sein, um Feinstaubemissionen

und damit verbundene Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit zu minimieren.

Diese Voraussetzungen sind derzeit vornehmlich bei Wärme- beziehungsweise Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen erfüllt. Mittelfristig könnte allerdings auch der Einsatz von holzbasierten Treibstoffen im Transportsektor ökologisch an Bedeutung gewinnen. Erstens, weil die Elektromobilität aktuell noch keine ernst zu nehmende Lösung für den Langstrecken- oder Gütertransport bietet und daher Treibstoffe mit ihrer hohen Energiedichte auch in Zukunft schwer ersetzbar sein dürften. Zweitens, weil andere erneuerbare Energien wie Wasser, Wind und Sonne zwar hervorragend für die Erzeugung von Wärme und Elektrizität geeignet sind, aber nach dem derzeitigen Technologiestand nicht wesentlich für die Produktion von Treibstoffen eingesetzt werden können.

### Gesamtbetrachtung von Umweltauswirkungen und Substitutionspotenzial

Die Nutzung von Holz führt in vielen Anwendungen zu geringeren Umweltauswirkungen als die Verwendung anderer Materialien. Richtig eingesetzt kann Holz also dazu beitragen, unseren ökologischen Fussabdruck zu verringern (Abbildung 3). Über die verschiedenen Sektoren hinweg betrachtet ist das Substitutionspotenzial



**Abb 3** Gegenüberstellung von Treibhausgasemissionen durch die Verwendung von Holz und Szenarien für vermiedene Emissionen (vorläufige Ergebnisse). Unter dem Strich ergibt sich ein deutlicher Klimanutzen durch die Verwendung von Holz. Die Unterschiede zwischen den Szenarien ergeben sich aus verschiedenen Annahmen zur Substitution (z.B. welche Energieträger bei Gebäudeheizungen ersetzt werden).

<sup>4</sup> OSTERMEYER Y, NÄGELI C, HEEREN N, WALLBAUM H (SUBMITTED) Building inventory and refurbishment scenario database development for Switzerland.



**Abb 4** Holz bietet vielfältige Verwendungsmöglichkeiten. Eine Kaskadennutzung mit effizienter energetischer Nutzung und Substitution fossiler Energieträger am Ende des Lebenszyklus bietet den höchsten ökologischen Nutzen. Foto: Barbara Allgaier Leuch

derzeit am grössten in der Wärme- und Strombereitstellung, wo Holz fossile Energieträger ersetzen kann. In der materiellen Nutzung ist das Substitutionspotenzial dann hoch, wenn Produkte aus energieintensiven Materialien wie Stahl ersetzt werden können. Es gibt allerdings auch Trade-offs zwischen verschiedenen Umweltauswirkungen. Während Holz bei der Verbrennung beispielsweise in Bezug auf Treibhausgasemissionen in der Regel gut abschneidet, entstehen oftmals höhere Feinstaubemissionen als bei anderen Energieträgern wie Heizöl oder Erdgas. Dieser Trade-off kann jedoch in modernen Anlagen durch saubere Verbrennungsprozesse und Filter minimiert werden.

### Kaskadennutzung

Durch eine kaskadenartige Verwendung von Holz kann der Umweltnutzen pro eingesetzte Menge Holz aufgrund von mehrfachen Substitutionseffekten erhöht werden. Umweltvorteile sind besonders dann gegeben, wenn durch die Kaskadennutzung zusätzliche Materialien oder Energieträger mit hohen Umweltauswirkungen ersetzt werden können. Wenn durch die Kaskadennutzung keine zusätzliche Substitution stattfindet, d.h., wenn lediglich Primärholz durch Sekundärholz ersetzt wird, ist der Umweltnutzen aufgrund der ohnehin umweltfreundlichen

Holzproduktion gering. Eine aus Sicht des Klimawandels positive Auswirkung einer verringerten Primärholznutzung könnte die zusätzliche Kohlenstoffspeicherung im Wald sein. Diese ist allerdings begrenzt. Zudem kann eine Kohlenstoffspeicherung auch durch die Verwendung von langlebigen Holzprodukten erreicht werden.

Vorsicht ist geboten, wenn stoffliche Nutzungen eine anschliessende energetische Nutzung einschränken oder gänzlich verhindern, da dort der Substitutionseffekt derzeit am grössten ist. Voraussetzung für einen hohen Umweltnutzen der Kaskadennutzung sind also geringe Materialverluste beim Recycling und eine abschliessende energetische Nutzung mit hoher Substitutionswirkung. Eine effiziente energetische Nutzung von Altholz mit entsprechender Abgasreinigung zur Substitution fossiler Energieträger ist somit aus ökologischer Sicht ein wichtiger Bestandteil der Kaskadennutzung.

### Fazit

Obwohl das Projekt noch nicht abgeschlossen ist, lassen sich schon einige Erkenntnisse zusammenfassen. Wie zu erwarten, erweist sich die Nutzung von Holz in der Regel als ökologisch sinnvoll. Grosse Unterschiede bestehen allerdings zwischen den spezifischen Verwendungszwecken und den jeweils assoziierten

Substitutionseffekten. Eine Kaskadennutzung kann die ökologischen Vorteile von Holz besonders dann weiter erhöhen, wenn sie eine zusätzliche Substitution von nicht erneuerbaren Materialien und Energieträgern ermöglicht. Angesichts der steigenden Nachfrage von Holz im Gebäude- und Energiebereich ist dies durchaus ein mögliches Zukunftsszenario. ■

### Dank

Wir danken dem Schweizerischen Nationalfonds für die Förderung dieses Projektes im Rahmen des Forschungsprogrammes «Ressource Holz» (NFP66-136612).

### Literatur

- CHAUDHARY A, HELLWEG S (2014) Including indoor offgassed emissions in the life cycle inventories of wood products. *Environ Sci Technol* 48: 14607–14614.
- STUEBING B (2013) Die Ökobilanz der energetischen Holzverwertung: Faktoren für einen hohen ökologischen Nutzen. *Schweiz Z Forstwes* 164: 408–419. doi: 10.3188/szf.2013.0408

### Quelles sont les utilisations les plus écologiques du bois?

Le bois peut contribuer à réduire l'empreinte écologique de notre société. Les écobilans sont une méthode adaptée pour évaluer les conséquences environnementales de produits ou services sur leur cycle de vie complet. Se basant sur ces méthodes, une comparaison entre des constructions en bois et traditionnelles démontre que les constructions en bois, en raison du plus faible impact lors de la fabrication des matériaux, ont tendance à obtenir de meilleurs résultats que des bâtiments similaires de construction traditionnelle. Il faut toutefois considérer les émissions potentielles des colles et des produits de traitement de surface. L'utilisation de bois suisse – du moins en comparaison internationale – n'a que peu d'impact sur la biodiversité. Une utilisation multiple en cascade peut améliorer les avantages écologiques du bois – à condition toutefois qu'il soit utilisé énergétiquement en fin de vie. Cette utilisation devrait causer que peu d'émission de particules fines et remplacer d'une manière efficiente les énergies fossiles.