

УДК 69.059.4

## NACHHALTIGES BAUEN MIT HOLZ

© 2012 г. F.U. Vogdt, N.V. Kruglaya

Технический университет Берлина (Германия)

Technical University of Berlin (Deutschland)

Южно-Российский государственный  
технический университет  
(Новочеркасский политехнический институт)South-Russian State  
Technical University  
(Novocherkassk Polytechnic Institute)

*Holzkonstruktionen stehen im Fokus über das Leitbild «Nachhaltige Entwicklung». Diese Produktgruppe haben viele Vorteile, die argumentativ auf ökologische, ökonomische und soziale Aspekte zurückgeführt werden können. In dieser Arbeit sind zwei vergleichende Analysen durchgeführt werden. Es war der Nachhaltigkeit des Holzdachs bewertet.*

*Schlagwörter:* Die Nachhaltigkeit; der Bau; das Holzdach; die Deckungen; die Lebensdauer.

*Деревянные конструкции стоят в центре вопроса об «устойчивом развитии строительства». Этот материал имеет много преимуществ, которые обоснованно можно свести к экологическим, экономическим и социальным аспектам строительства. В данной работе представлены результаты двух сравнительных анализов деревянных крыш с различными материалами покрытия, дана оценка устойчивости деревянных конструкций покрытия.*

*Ключевые слова:* устойчивость; долговечность; строительство; деревянные конструкции крыши; покрытия; жизненный цикл.

*Wooden constructions are considered in terms of «sustainable development». This group of products has many advantages in the economic, environmental and social aspects. There are two comparative analyses in this work. Assessed the sustainability of wooden roofs.*

*Keywords:* sustainable; building; wooden roofs; roofing; life-cycle- assessment; life-cycle-costing.

Bei den Diskussionen über das Leitbild «Nachhaltige Entwicklung» stehen Holzprodukte im Fokus. Viele Vorteile dieser Produktgruppe, die argumentativ auf ökologische, ökonomische und soziale Aspekte zurückgeführt werden können, liegen auf der Hand. Eine Einordnung, in welchen Bereichen die interessantesten ökologischen und die größten Marktpotenziale liegen, existiert jedoch nicht. Aus Sicht der Holzprodukte wurde bislang eine ökologische Beurteilung der Konkurrenzmaterialien nicht in umfassendem Rahmen durchgeführt.

In zunehmendem Maße erhöhen sich die Anforderungen an die Wettbewerbsfähigkeit der Produktgruppe Holz. Dazu gehören neben der Erhöhung der Komplexität des Marktes auch die gesellschaftlichen Ansprüche an sozial und ökologisch zukunftsfähige Produkte. Die Beurteilung der ökologischen Vorteilhaftigkeit der Produkte bedarf jedoch einer verlässlichen Basis.

Die dargestellten Forschungsergebnisse basieren auf Vergleichsanalysen, die während des Forschungsaufenthaltes im Rahmen eines DAAD-Stipendiums am Lehrstuhl für Bauphysik und Baukonstruktionen der TU Berlin durchgeführt wurden. Im ersten Beispiel werden ein Holz- und ein Stahlbetondach verglichen. Derzeit ist Stahlbeton das Hauptkonkurrentprodukt zu Holz. Bezogen auf die Brutto-Dachfläche der insgesamt fertig gestellten Hallen weisen Holzkonstruktionen im Industriebau einen vergleichsweise geringen Anteil von 2 % auf. Hier dominieren Stahlbeton- und Stahlkonstruktionen mit zusammen mehr als 80 % der Brutto-Dachfläche. In landwirtschaftlichen Betriebsgebäuden dagegen sind Holzkonstruktionen von wesentlich größerer Bedeutung. Hallen, die überwie-

gend in Holzbauweise errichtet wurden, erreichten im Jahr 2005 einen Anteil von 28 % der Brutto- Dachfläche aller landwirtschaftlichen Betriebsgebäude.

Im zweiten Beispiel werden die verschiedenen Deckungsvarianten der Holzdächer verglichen.

### **Beispiel 1: Vergleich Holzdach- und Stahlbetondachkonstruktionen**

Für den Vergleich der Dachkonstruktionen werden zwei verschiedene Trägersysteme miteinander verglichen. Es werden die zwei Dachkonstruktionen aus Holz und aus Stahlbeton bezüglich ihrer Umweltauswirkungen entlang des gesamten Lebenszyklus beurteilt.

Beschreibung der angesehenen Dachkonstruktionen:

1. Dach-Tragkonstruktion aus Beton, C 20/25 (B25) für geneigtes Dach mit Bewehrung und Schalung einschl. Kostenanteilen aus Aussparungen und Einbauteilen. Dachdeckung aus Titanzink, geneigt, mit Bitumenabdichtung auf Betondach.

2. Dach-Tragkonstruktion aus Holz, für Pfettendach mit Wärmedämmung aus Mineralwolle  $d = 160$  mm, Luftdichtung unterhalb, unterspannbahn oberhalb des Sparren, einschl. Kosteneinheiten aus Auflager und Verbindungsmitteln. Dachdeckung mit Flachdachpfannen und Unterspann einschl. Verwahrungen aus Titanzink.

### Lebenszykluskosten

Im Rechnungsprogramm LEGEP ermöglicht das Modul «Lebenszykluskosten» das Erstellen der Kostenplanung für alle Lebenszyklusphasen eines Gebäudes, einen Nachweis der Kosten nach DIN 276 und DIN 18960 sowie die Auswertung für alle Lebenszyklusphasen und nach Kennwerten (DIN 277). Betrachtungszeitraum ist 100 Jahr

In Tabelle 1 sind 3 unterschiedliche Kostenbereiche dargestellt.

Tabelle 1

**Bewertung der Lebenszykluskosten**

Kriterium	Holzdach	Stahlbetondach	Unterschied
Kosten Neubau, Euro	116.309,00	121.220,00	4 %
Kosten Instandsetzung, Euro	2.030,58	2.121,43	5 %
Kosten Rückbau, Euro	1.906,10	1.916,33	1 %

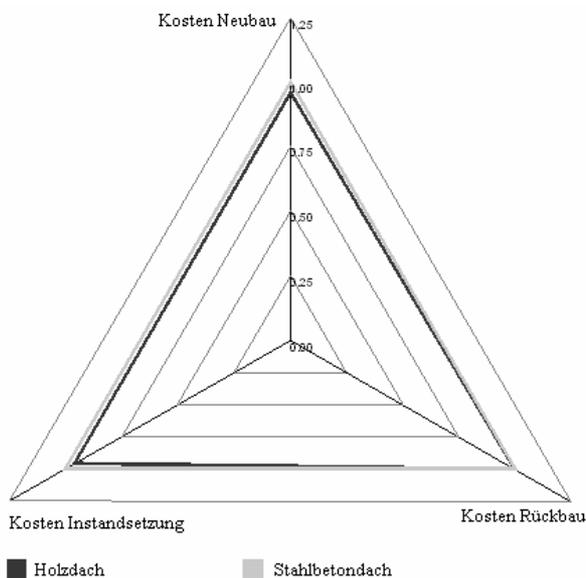


Abb. 1. Vergleich der Neubaubewertung, der Instandsetzungsbewertung, der Rückbaubewertung der Dachkonstruktionen (summiertes Ergebnis über den Lebenszyklus)

Tabelle 2

**Wirkkategorien mit festen Referenzgrößen**

Wirkkategorie	Referenzwert
Treibhauspotenzial Global Warming Potential (GWP)	kg CO <sub>2</sub> -Äquivalent
Ozonschichtzerstörungspotenzial Ozone Depletion Potential (ODP)	kg CFC11-Äquivalent
Versauerungspotenzial Acidification Potential (AP)	kg SO <sub>2</sub> -Äquivalent
Überdüngungspotenzial Eutrophic Potential (EUT)	kg P-Äquivalent
Sommersmogpotential (SS)	kg Ethen- Äquivalent
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PEne)	MJ
Primärenergiebedarf erneuerbar, (PEe)	MJ

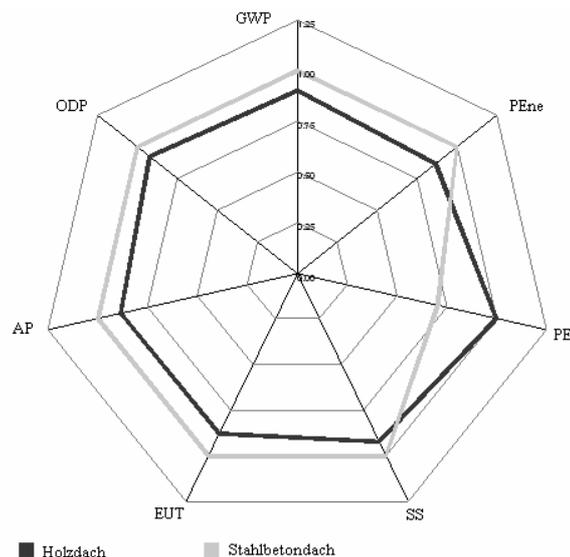


Abb. 2. Vergleichende Analyse einer Holzdach und einer Stahlbetondach (Neumaterialeinsatz)

**Ökologischer Vergleich von zwei Dachkonstruktionen**

Für die Bewertung der Umweltbelastungen von Bauprodukten ist eine Ökobilanz (LCA, Life-Cycle-Analysis) erforderlich. Bei der Wirkungsabschätzung errechnen man die Wirkungsbilanz, d.h. die Wirkungen auf die Umwelt, die durch die Baumaßnahme ausgelöst werden. Jede Wirkkategorie repräsentiert ein bestimmtes Umweltthema. Fest etabliert sind dabei die Emissionen und der Primärenergiebedarf mit den entsprechenden Referenzgrößen (siehe Tabelle 2).

**Neumaterialeinsatz**

Die Bewertung der Neumaterialeinsatz wird mit Hilfe der Ökobilanz durchgeführt. Abbildung 2 zeigt die zwei Dachkonstruktionen im Vergleich.

Bei der Betrachtung des Neumaterialeinsatzes in Abbildung 2 fällt auf, dass die Belastungen zum Zeitpunkt der Erstellung für die Holzdach deutlich unter der Stahlbetondach liegen.

Die Resultate des Energieverbrauchs (Tabelle 3) sind ebenfalls günstig für das Holzdach bemerkbar – die Bilanzwerte sind deutlich geringer als bei dem Stahlbetondach. Hier macht sich die beim Holz integrierte Wärmedämmung bemerkbar.

Tabelle 3

**Bewertung des Neumaterialeinsatzes**

Wirkkategorie	Holzdach	Stahlbetondach	Unterschied
Treibhauspotenzial (GWP)	115.741	128.368	11 %
Ozonschichtzerstörungspotenzial (ODP)	0,01322	0,01432	8,3 %
Versauerungspotenzial (AP)	345,4	390,1	13 %
Überdüngungspotenzial (EUT)	29,908	34,157	14 %
Sommersmogpotential (SS)	30,8	33,5	8,7 %
Primärenergiebedarf erneuerbar, (PEe)	160.325	112.919	29 %
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PEne)	1.303.267	1.502.836	15 %

**Lebensdauer**

Die Ergebnisse der Dächer in Stahlbeton und Holz liegen bei der Kategorie Überdüngungspotenzial (EUT) in etwa im gleichen Bereich. Bei der Treibhauspotenzial (GWP) und Versauerung (AP) liefert das Holzdach um 16 % bis 24,5 % die besseren Werte (Tabelle 4). Gleich-

zeitig sind bei Primärenergiebedarf erneuerbar (PEe) des Holzbeispiels um rund 8 % niedriger als bei dem anderen Dach. Aber insgesamt ist der Energieverbrauch für zwei Varianten gleich etwa 11 %.

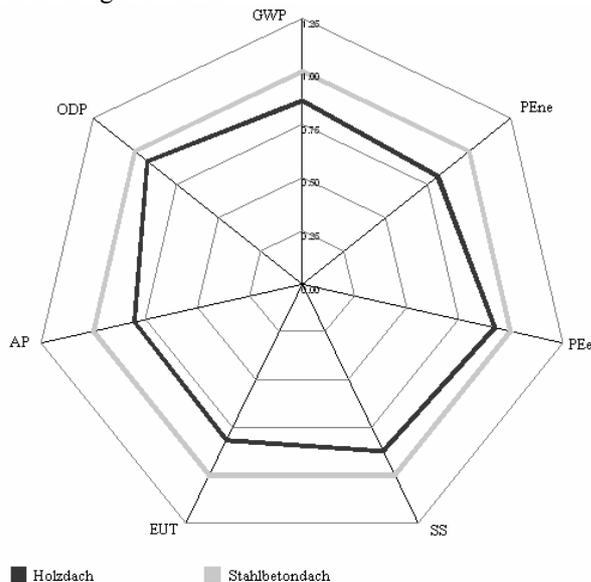


Abb. 3. Vergleichende Analyse einer Holzdach und einer Stahlbetondach (Lebensdauer)

Bei dem Ozonbildungspotenzial (ODP) ergibt die Holzdachvariante um 8 % geringere Umweltbelastungen. Holz wirkt sich hier als nachwachsender Rohstoff äußerst günstig aus.

**Beispiel 2: Vergleich Holzdachkonstruktionen mit verschiedenen Dachdeckungen**

Eine beispielhafte Analyse erfolgt anhand des Vergleichs der Holzdächer des Einfamilienhauses mit verschiedenen Varianten der Deckung (Beschreibung siehe in Tabelle 5).

Neben den traditionellen Dachkonstruktionen (Kehlbalkendach D2-D5) wird auch das Lamellendach (D1) betrachtet. Bei der Bewertung der Rückbauprozesse zeigt D1 die minimalen Kosten (Abb.4). Begründung ist die Einfachheit und die Wirtschaftlichkeit dieser Dachkonstruktionen.

Für D1 und D2 war die Variante der Deckung mit Wärmedämmung im Unterschied zu den anderen übernommen. Im ökologischen Vergleich bei dem Neumaterialeinsatz hat diese Variante natürlich die ungünstigen Werte (Tabelle 6). Aber bei der Lebensdauer hat diese Konstruktion wesentlichen Vorteil - die Senkung der Energiebedarf in ganzem durch die Reduzierung des Wärmeverlust (Tabelle 7).

Tabelle 4

**Bewertung einer Holzdach und einer Stahlbetondach in der Lebensdauer**

Wirkkategorie	Holzdach	Stahlbetondach	Unterschied, %
Treibhauspotenzial (GWP)	123.525	143.211	16 %
Ozonschichtzerstörungspotenzial (ODP)	0,01329	0,01436	8 %
Versauerungspotenzial (AP)	384,3	478,6	24,5 %
Überdüngungspotenzial (EUT)	33,312	40,828	7,5 %
Sommersmogpotential (SS)	32,9	37,7	14,5 %
Primärenergiebedarf erneuerbar, (PEe)	184.168	199.689	8 %
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PEne)	1.427.097	1.758.313	23 %

Tabelle 5

**Beschreibung der Dachkonstruktionen mit verschiedenen Dachdeckungen**

Projekt	Dachkonstruktion / Deckung
D1	Dach - Tragkonstruktion aus Holz, (Lamellendach) / Dachkonstruktion als Flachdach aus Ziegeleinhängedecke, d=21 cm, Bitumenbahnabdichtung und Polyurethan-Wärmedämmung mit Kiesschüttung, Kalkgipsputz mit Dispersionsbeschichtung
D2	Dach-Tragkonstruktion aus Holz, S 10, für Kehlbalkendach / Dachkonstruktion als Flachdach aus Ziegeleinhängedecke, d=21 cm, Bitumenbahnabdichtung und Polyurethan-Wärmedämmung mit Kiesschüttung, Kalkgipsputz mit Dispersionsbeschichtung
D3	Dach-Tragkonstruktion aus Holz, S 10, für Kehlbalkendach / Dachdeckung mit Flachdachpfannen, einschl. Verwahrungen aus Titan-Zink
D4	Dach-Tragkonstruktion aus Holz, S 10, für Kehlbalkendach / Dachdeckung mit Faserzement-Platten als Doppeldeckung, einschl. Verwahrungen aus Titan-Zink
D5	Dach-Tragkonstruktion aus Holz, S 10, für Kehlbalkendach / Dachdeckung mit Schiefersteinen als Altdeutsche-Deckung, einschl. Verwahrungen aus Kupfer

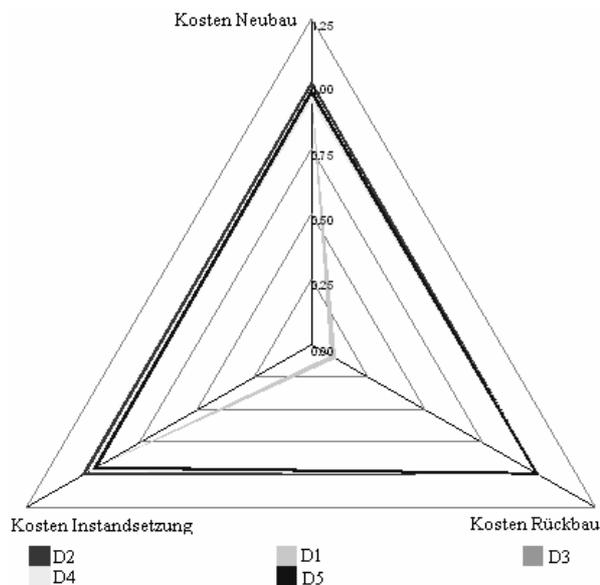


Abb. 4. Vergleich der Neubaubewertung, der Instandsetzungsbewertung, der Rückbaubewertung der Deckenkonstruktionen (summiertes Ergebnis über den Lebenszyklus)

In Varianten D3-D6 änderten sich nur die Deckungen, um zu bewerten, wie das Deckungsmaterial den Lebenszyklus der Konstruktion beeinflusst. Dabei wurden die

folgenden Ergebnisse erzielt. Aus die Abb. 5 und Abb.6 ist ersichtlich, dass die Konstruktionen D3-D5 in allen die Wirkungskategorien identische Kennziffern haben.

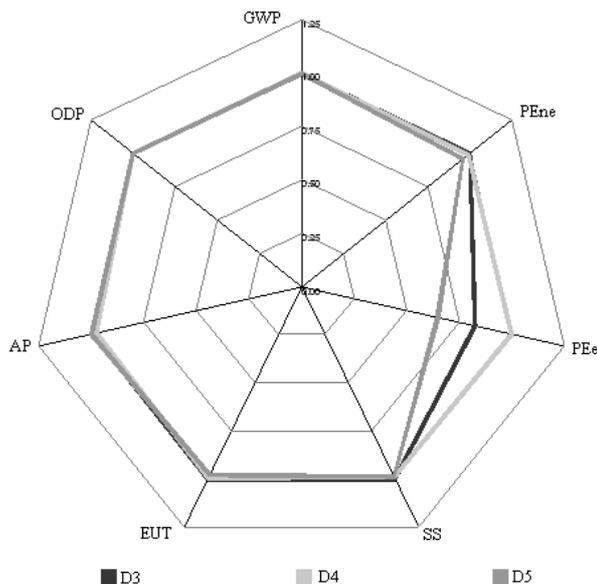


Abb. 5. Vergleichende Analyse der Holzdächer mit den Deckungen D3-D5 (Neumaterialeinsatz)

Tabelle 6

**Bewertung des Neumaterialeinsatzes (Ökologischer Vergleich)**

Wirkkategorie	D1	D2	D3	D4	D5
Treibhauspotenzial (GWP)	106.412	133.227	111.671	111.984	111.567
Ozonschichtzerstörungspotenzial (ODP)	0,01349	0,01504	0,01339	0,01336	0,01337
Versauerungspotenzial (AP)	368,2	397,8	351,8	344,9	354,1
Überdüngungspotenzial (EUT)	32,559	34,831	30,766	30,556	30,058
Sommersmogpotential (SS)	32,0	35,1	31,3	31,0	30,9
Primärenergiebedarf erneuerbar, (PEe)	287.341	155,97	216.748	262.375	169.814
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PEne)	1.330.574	1.573.610	1.334.434	1.319.261	1.278.807

Tabelle 7

**Bewertung einer Deckungen der Holzdächer in der Lebensdauer (Ökologischer Vergleich)**

Wirkkategorie	D1	D2	D3	D4	D5
Treibhauspotenzial (GWP)	163.712	205.996	119.323	122.066	113.273
Ozonschichtzerstörungspotenzial (ODP)	0,02039	0,02435	0,01361	0,01369	0,010357
Versauerungspotenzial (AP)	741,4	854,5	392,5	394,2	391,6
Überdüngungspotenzial (EUT)	82,949	94,758	34,617	35,102	32,670
Sommersmogpotential (SS)	68,8	81,8	33,7	34,1	32,4
Primärenergiebedarf erneuerbar, (PEe)	813.804	673.389	301.676	322.943	204.047

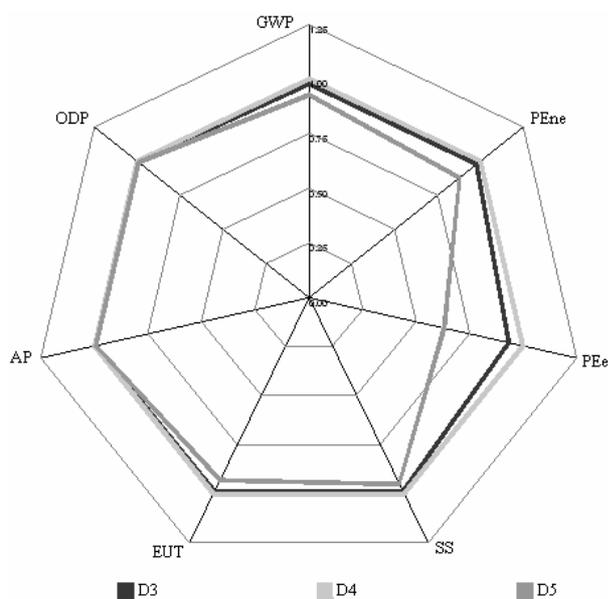


Abb. 6. Vergleichende Analyse der Holzdächer mit den Deckungen D3-D5 (Lebensdauer)

### Schlussfolgerung

Auf Basis des oben durchgeführten Vergleichs können keine konkreten Empfehlungen für oder gegen eine Variante gegeben werden. Die Umfang und Qualität der verwendeten Daten sind hierfür zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht ausreichend. Zudem hat jede Bauweise positive und negative Aspekte, welche durch intelligentes und effektives Konstruieren zu berücksichtigen sind.

Ausgangspunkt der mit LEGEP durchgeführten Analysen ist die Lebenszyklusbewertung von Holzdächern auf Grundlage von verschiedenen Wirkungskategorie mit Hilfe der bestehenden Methodik der Ökobilanzierung; und Bewertung der Lebenszykluskosten der Holzdächer abhängig von dem Deckungsmaterial.

Die Holzdächer weisen im Hinblick auf die Forderungen aus dem Bereich Nachhaltigkeit deutliche Potenziale auf. Aus ökologischer Sicht sind diese insbesondere durch Eigenschaften wie hohe Festigkeit und die daraus folgende Masse pro Nutzfläche, Kreislauffähigkeit und lange Lebensdauer gegeben. Bezogen auf die Prozessqualität wirken sich Einfachheit der Vorfertigung, die staubfreie Bauweise sowie die leichte De-/Montage äußerst positiv aus. Kein anderer Rohstoff ist besser dafür geeignet, das Prinzip Nachhaltigkeit zu verkörpern, als Holz.

Da das Gewicht bei nachhaltigen Bewertungen insgesamt eine große Rolle spielt, gilt es masseoptimiertes Konstruieren mit Holz zukünftig stärker zu forcieren.

### Поступила в редакцию

**Фогдт Франк У.** – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительная физика и строительные конструкции», Технический университет Берлина (Германия).

**Круглая Наталья Витальевна** – канд. техн. наук, доцент, кафедра «Строительство и архитектура», Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт). E-mail: KruglayaNv@mail.ru

**Vogdt Frank U.** – Doctor of Technical Sciences, professor, head of department «Building Physics and Building Constructions» Technical University of Berlin.

**Kruglaya Nataliya Vitalievna** – Candidate of Technical Sciences, assistant professor, department «Building and Architecture», South-Russia State Technical University (Novochechassk Polytechnic Institute). E-mail: KruglayaNv@mail.ru

### Fazit

Da zum jetzigen Zeitpunkt Entscheidungen im Planungsprozess oft nur auf Grundlage kurzfristiger Betrachtungen getroffen werden, sind die derzeitigen Entwürfe für Bauwerke in der Regel nicht an Nachhaltigkeitszielen orientiert. Mit einer Lebenszyklusanalyse können in Zukunft die Vor- und Nachteile verschiedener Entwurfskonzepte erkannt und optimiert werden. Auf der Grundlage von qualitativen und quantitativen Einzelbewertungen können ökologisch lohnende Investitionen bereits in den Planungsphasen identifiziert und umgesetzt werden.

Für einen nachhaltigen Entwurf könne verschiedene Strategie verfolgt werden, deren unterschiedliche Auswirkungen in der Regel erst durch die Analyse des kompletten Lebenszyklus einer Baukonstruktion deutlich werden. Im Rahmen der Analyse müssen Instrumente bzw. Verfahren eingesetzt werden, die eine Bewertung urweltlicher, wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Aspekte der durch eine Bauwerk ausgelösten Prozesse auf der Basis einer hinreichend genauen Datengrundlage über den Lebenszyklus erlauben.

Aber nicht nur bezogen auf die Materialien und Konstruktion müssen ernsthafte Schritte unternommen werden um das nachhaltige Bauen voranzubringen, sondern auch in der Ausbildung. An jeder Hochschule oder Universität an der Architektur unterrichtet wird, sollte mindestens ein Studiengang für nachhaltiges Bauen mit den Hauptfächern Entwerfen und Konstruieren und den projektbezogenen Pflichtfächern Bauphysik, Materiallehre und Haustechnik angeboten werden. Nur wenn bei jungen Architekten das Interesse und Verständnis für das nachhaltige Bauen geweckt und in der akademischen Ausbildung auch eine solide Basis für das Konstruieren gelegt wird, können die enormen Herausforderungen durch die Energieknappheit unseres Jahrhunderts gemeistert werden.

### Literatur

1. Eyerer P., Reinhardt H.-W. (2000): Ökologische Bilanzierung von Baustoffen und Gebäuden – Wegen zu einer ganzheitlichen Bilanzierung, Bau Praxis Birkhäuser Verlag, Basel, CH.
2. Graubner C.-A., Hüske K. (2003): Nachhaltigkeit im Bauwesen, Ernst&Sohn, Berlin.
3. Vogdt F.U. et. al. (2005): Nachhaltiges Bauen unter besonderer Berücksichtigung bauphysikalischer Aspekte; In: Cziesielski, Erich (Hrsg.): Bauphysik-Kalender 2005; 5.Jg.; Berlin: Ernst&Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften; Seiten 441-728.

24 сентября 2012 г.