

K. Sedlbauer, A. Kaufmann, F. Seifert

## Das bauphysikalische Verhalten bestimmt die Ökobilanzierung von Bauprodukten

### 1. Einleitung

In der aktuellen Diskussion, Energie-Einsparmöglichkeiten im Bereich des Wohnungswesens zu ermitteln, wird häufig das Instrumentarium der Ökobilanz erwähnt. Es handelt sich hierbei um eine Methode, die ganzheitlich die Umweltauswirkungen der menschlichen Aktivitäten - in Form von Produkten, Produktionsprozessen und Dienstleistungen - abbildet. Methodisch gesehen besteht das Instrumentarium aus dem a priori zu definierenden Bilanzierungsziel, der Sachbilanz, der Wirkungsabschätzung und der abschließenden Bewertung [1]. Die Umweltauswirkungen eines Produktes werden über dessen gesamten Lebensweg ermittelt. Das Ergebnis identifiziert Schwachstellen und erlaubt Aussagen zur Optimierung der Umwelteigenschaften der Bauprodukte und zur Minimierung der Material- und Energieströme. Für diese Betrachtung ist es erforderlich, die Ströme in den einzelnen Lebenswegphasen (Rohstoffgewinnung, Produktherstellung, Transporte, Montage, Nutzung, Instandsetzung, Rückbau und Entsorgung) zu erfassen.

### 2. Bauprodukte als Besonderheit

Im Gegensatz zu den meisten kurzlebigen Gütern ergeben sich jedoch bei Bauprodukten prinzipielle Unterschiede. Eine wesentliche Rolle bei Gebäuden spielt die lange Lebensdauer aufgrund der großen Wärmeverluste und -gewinne und den damit verursachten Emissionen durch die Energiebereitstellung. Darüber hinaus ändern sich im Laufe mehrerer Jahrzehnte die Produkteigenschaften und damit auch die Stoffströme, wenn sich z.B. die Wärmedämmwirkung eines Bauteils durch Alterung (z.B. Ausgasen, Setzen, Feuchteinwirkung) verschlechtert. Ferner verursachen Maßnahmen zur Instandhaltung (Wartung, Reinigung und kleine Reparaturen) und Sanierung (Instandsetzung und Erneuerung sowie Modernisierung) nicht unerhebliche Energie- und Stoffströme. Ersten Erkenntnissen zufolge erreichen diese mindestens eine ähnliche Größenordnung wie die Herstellung. Das ist insbesondere dann der Fall, wenn Bauprodukte oder einzelne Komponenten mehrmals innerhalb der Standzeit eines Gebäudes erneuert werden müssen. Dadurch avanciert innerhalb einer Ökobilanz von Bauprodukten die Nutzungsphase zum dominierenden Lebenswegabschnitt. Bisher vorgestellte Ökobilanzen lassen den erforderlichen Detaillierungsgrad bei der Beschreibung der Nutzungsphase von Bauprodukten vermissen, da sie meist von reinen Aufwands-

betrachtungen ausgehen. Auch werden unterschiedliche Zeiträume für die Bilanzierung zugrunde gelegt, die ein Vergleichen von Bauproduktökobilanzen erschweren.

Wie in [2] ausführlich beschrieben, muß an eine Ökobilanz von Bauprodukten, die die Nutzungsphase beinhaltet, eine Reihe von Anforderungen gestellt werden. Dabei sollten nicht nur bauphysikalische Randbedingungen genau definiert, sondern auch zeitabhängige Kennwerte sowie Schadensfälle und mittlere Lebensdauern von Bauprodukten einschließlich der erforderlichen Sanierungs- und Instandhaltungsmaßnahmen berücksichtigt werden. In der vorliegenden Arbeit wird exemplarisch der Einfluß verschiedener Randbedingungen in einer Ökobilanz eines Steildaches am Beispiel der CO<sub>2</sub>-Emissionen aufgezeigt.

### 3. Beschreibung des untersuchten Dachaufbaus

Als Beispiel für ein repräsentatives Außenbauteil eines Gebäudes wurde eine Schrägdachkonstruktion mit Zwischensparrendämmung aus Mineralwolle ohne Belüftung gewählt. Deren mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient bei 20 cm Dämmstoffdicke beträgt 0,22 W/(m<sup>2</sup>K). Für die Berechnungen wurde als Grundvariante festgelegt: Die Dachneigung beträgt 50°, das Dach ist nach Norden ausgerichtet, als Standort wurde Holzkirchen gewählt und das Innenraumklima

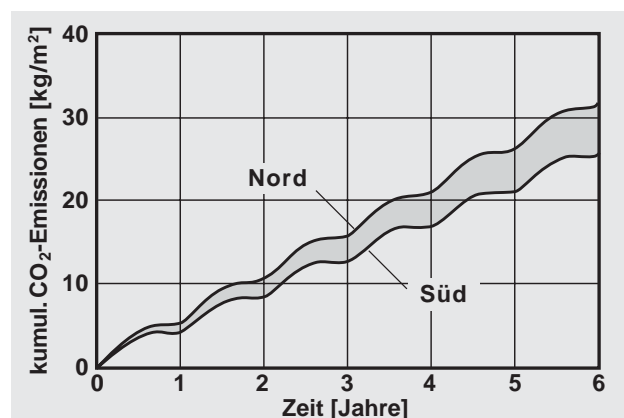


Bild 1: Kumulierte CO<sub>2</sub>-Emissionen aufgrund der Transmissionswärmeverluste des Daches in Abhängigkeit von der Ausrichtung des Daches.

ma mit einer realitätsnahen Variation (im Winter: 20 °C, im Sommer: 22 °C) angenommen [3]. Der Primärenergieinhalt des Dachaufbaus beträgt in der Grundvariante 75 kWh/m<sup>2</sup> [4]. Rechnet man dies in kg emittiertes CO<sub>2</sub> um, so ergeben sich bei Annahme einer mittleren Energiebereitstellung (Energemix Deutschland [5]) 45 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>; gebundenes CO<sub>2</sub> in Holz wurde nicht berücksichtigt.

Da das bauphysikalische Verhalten eines Daches nicht nur von seiner Bauweise, sondern auch von den entsprechenden Randbedingungen abhängt, wurden für drei Varianten die Transmissionswärmeverluste mit WUFI [6] berechnet und miteinander verglichen: Zum einen wurde die Dachneigung zwischen 20° und 60° variiert bei sonst gleichbleibenden Parametern. Des Weiteren wurde die Orientierung des Daches nach Norden und Süden hin betrachtet. Darüber hinaus wurden die Außenklimate von Holzkirchen mit denen von Würzburg (mittleres deutsches Klima) und Freiburg verglichen. Die Berechnung mit WUFI ermöglicht es, neben der Ermittlung der Wärmeströme gleichzeitig das feuchtetechnische Verhalten der Bauteile zu bestimmen, da sich ein erhöhter Feuchtegehalt sofort auf den Wärmestrom auswirkt. Auch kann festgestellt werden, bei welchen Randbedingungen eine betrachtete Konstruktion aus feuchtetechnischer Sicht auf Dauer funktionstüchtig bleibt.

#### 4. Ergebnisse

Die Berechnungen wurden hinsichtlich der verschiedenen Einflußfaktoren auf den Transmissionswärmeverlust ausgewertet. Dabei zeigte sich, daß dieser abhängig von der Dachneigung um 15 % variiert, sofern 1 m<sup>2</sup> des Daches betrachtet wird. Noch deutlicher wird der Einfluß bei der Ausrichtung des Daches. Bild 1 zeigt dazu in Abhängigkeit von der Zeit die kumulierten CO<sub>2</sub>-Emissionen (Umrechnung nach [7]: 300 g CO<sub>2</sub> pro kWh). Der Unterschied zwischen nord- und südorientiertem Dach beträgt etwa 20 % vom gesamten Transmissionswärmeverlust. Beim Vergleich der Standorte Holzkirchen und Freiburg gab es erwartungsgemäß die größten Differenzen. Während eines Jahres verliert das Holzkirchener Dach etwa 50 % mehr Wärme als das Dach in Freiburg. Darüber hinaus muß berücksichtigt werden, daß sich in der Realität diese Effekte auch überlagern können.

Eine Gegenüberstellung der herstellbedingten Primärenergieinhalte und denjenigen aus der Nutzungsphase zeigt Bild 2 in Abhängigkeit von der Zeit. Dabei wird deutlich, daß sich die Unterschiede der Transmissionswärmeverluste (z.B. Norddach im Vergleich zum Süddach) infolge der o.g. Einflußfaktoren im Laufe der Jahre derart summieren, daß sie in die Größenordnung der herstellbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen bereits nach wenigen Jahresdekaden kommen. Die herstellbedingten Emissionen treten dann in den Hintergrund.

#### 5. Folgerungen und Ausblick

Die Wahl der Randbedingungen Dachneigung, Dachausrichtung und Außenklima hat einen erheblichen Einfluß auf das Ergebnis einer Ökobilanz, wie die beispielhafte Untersuchung eindeutig zeigt. Das bedeutet, daß Einflußfaktoren in der Nutzungsphase vorhanden sind, die im Vergleich zur Herstellung in gleicher oder höherer Größenordnung CO<sub>2</sub>-

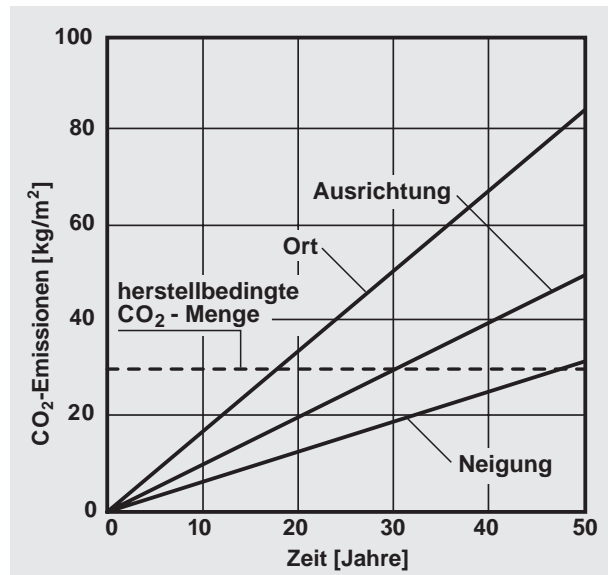


Bild 2: Maximal auftretende kumulierte CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Variation der Randbedingungen, die sich ergeben bei Differenzbildung zwischen ungünstigstem und günstigstem Fall; im Vergleich wird die herstellbedingte CO<sub>2</sub>-Menge dargestellt.

Emissionen verursachen. Damit wird klar, daß eine detaillierte Abbildung der Nutzungsphase in einer Ökobilanz von Bauprodukten unabdingbar ist. Ihr bauphysikalisches Verhalten bestimmt somit die Ökobilanz ganz wesentlich!

#### 6. Literatur

- [1] DIN EN ISO 14040, Ökobilanz, Prinzipien und allgemeine Anforderungen. Beuth Verlag, Berlin (1997).
- [2] Gertis, K.; Sedlbauer, K.: Ökobilanzierung von Bauprodukten muß zeitabhängig erfolgen. Erscheint demnächst im Bundesbaublatt.
- [3] Künzel H.M.: Raumluftfeuchteverhältnisse in Wohnräumen. IBP-Mitteilung 24 (1997), Nr.314.
- [4] Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau: Der Primärenergieinhalt der Baukonstruktionen unter gleichzeitiger Berücksichtigung der wesentlichen Baustoffeigenschaften und der Herstellungskosten - Bauteilkatalog - F2249. IRB Verlag, Stuttgart (1994).
- [5] Wirtschaftsorientierte Strategische Allianz Ökobilanz der Fraunhofer-Gesellschaft (Hrsg.): Branchenübergreifende Methodentwicklung zur Bilanzierung und Bewertung der Umweltwirkungen von Produkten, Prozessen und technischen Systemen. Karlsruhe (1996).
- [6] Künzel H.M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten, Dissertation Universität Stuttgart 1994.
- [7] HELENA 2.0: Berechnungsprogramm zur Ermittlung des Heizenergiebedarfs von Gebäuden nach der europäischen Norm DIN EN 832 und nach der WSchV 95, entwickelt am Fraunhofer-Institut für Bauphysik, 1995.
- [8] Bundesamt für Energiewirtschaft: Ökoinventare von Energiesystemen. 3. Auflage, Bern, Juli 1996.



Fraunhofer  
Institut  
Bauphysik

### FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR BAUPHYSIK (IBP)

Leiter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. mult. Dr. E.h. mult. Karl Gertis  
D-70569 Stuttgart, Nobelstr. 12 (Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart), Tel. 07 11/9 70-00  
D-83626 Valley, Fraunhoferstr. 10 (Postfach 11 52, 83601 Holzkirchen), Tel. 0 80 24/6 43-0