ANFORDERUNGEN AN DEN ÖKOBILANZIELLEN VERGLEICH VERSCHIEDENER BAUWEISEN AM BEISPIEL 1-2 FAMILIENHAUS

Katrin Loewe[1], Stefan Albrecht[2], Bastian Wittstock[2], Matthias Fischer[1], Klaus Sedlbauer[1,2]
[1]Fraunhofer Institut für Bauphysik, Ganzheitliche Bilanzierung, Stuttgart, Deutschland
[2]Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Bauphysik, Ganzheitliche Bilanzierung, Stuttgart, Deutschland

KURZFASSUNG

Im Kontext nachhaltiger ökologischer Wohngebäude ist die Datengrundlage bei neutralen Vergleichen unterschiedlicher Bauweisen derselben bisher sehr gering. Damit verbunden existieren derzeit nur wenige wissenschaftlich fundierte Erkenntnisse. Soll die Möglichkeit bestehen, eine ökologisch vorteilhafte Bauweise für den Wohnbau auswählen zu können, muss ein objektiver ökologischer Vergleich der gewählten Bauweise mit anderen alternativen Bauweisen durchgeführt werden. Die Grundlagen für einen solchen Vergleich und die Festlegung von Anforderungen an diesen, liefert das hier vorgestellte Vorgehen. Des Weiteren wird ein Gebäudemodell für die vergleichende Ökobilanzierung zur Verwendung in spezieller Ökobilanz-Software vorgestellt sowie dessen Anwendbarkeit anhand zweier Beispielgebäude praktisch aufgezeigt.

ABSTRACT

Within the context of environmental friendly residential buildings, the data basis for neutral comparisons of different construction types is rather rare. Combined with this fact only few scientific-based findings exist. If the possibility shall persist to choose an environmentally advantageous method of construction, an objective comparison of the chosen construction type with alternative types has to be carried out. The basic principles for such a comparison and the specification of adjunctive requirements are outlined within this paper. Furthermore a building model, compiled for a comparative Life Cycle Assessment (LCA) for the application in specific LCA software will be presented, as well as its practical applicability with the help of two building examples shown.

EINLEITUNG

Im Kontext der Ökobilanzierung im Bauwesen sowie deren gegenwärtiger Anwendung im „Deutschen Gütesiegel Nachhaltiges Bauen“ (DGNB) und nachhaltiger ökologischer Wohngebäude sehen sich sowohl Nutzer als auch Planer häufig vor ein Auswahlproblem gestellt. Der Nutzer muss sich für eine Bauweise entscheiden, der Planer wird im Allgemeinen eine Bauweise vorschlagen müssen. Doch welches ist die ökologisch vorteilhaftere Variante für das entsprechende Eigenheim?

Eine Antwort auf diese Frage kann eine vergleichende Ökobilanz liefern. Bisher sind zum Thema „Vergleichende Ökobilanzen von Wohngebäuden“ allerdings nur wenige Studien öffentlich zu finden, deren Untersuchungsrahmen und die damit verbundene Qualität der Ergebnisse dementsprechend jedoch variieren. Um objektive Ergebnisse aus einer vergleichenden Ökobilanz gewinnen zu können, sind allerdings

- spezifische Festlegungen an vergleichende Ökobilanzen gemäß DIN EN ISO 14040 und 14044 zu beachten,
- insbesondere Wert auf die Formulierung der Zielstellung der Ökobilanz und des Untersuchungsrahmens zu legen,
- sowie darauf aufbauend die Erstellung eines geeigneten Gebäudemodells zur Nutzung in spezieller Ökobilanz-Software nötig.

STAND DER TECHNIK

Anforderungen an vergleichende Ökobilanzen nach DIN EN ISO 14040 und 14044

Vergleichende Ökobilanzen stellen vergleichende Betrachtungen der potenziellen Umweltwirkungen verschiedener Produktsysteme (beispielsweise eines Einfamilienhauses in verschiedenen Bauweisen) über deren Lebenszyklus an. Das zu untersuchende Produkt wird einem Konkurrenzprodukt mit gleichem Verwendungszweck gegenüber gestellt. Das Ergebnis der Untersuchung ist eine vergleichende Aussage, zur ökologischen Überlegenheit eines Produktes oder zur Gleichwertigkeit beider Produkte.

Voraussetzung dafür ist, dass für die untersuchten Systeme dabei gleiche Funktionen, die mit denselben funktionellen Einheiten in Form ihrer Referenzflüsse quantifiziert werden können, im Untersuchungsrahmen festgelegt werden. Der Referenzfluss drückt die Menge an Produkten aus,

welche nötig ist, um eine vorgegebene Funktion zu erfüllen. Werden zusätzliche Funktionen nicht berücksichtigt, müssen diese dokumentiert und erläutert werden. Alternativ kann aber auch ein System an die Grenze des zu untersuchenden Systems angefügt werden, das mit der Bereitstellung von zusätzlichen Funktionen verbunden ist. Weiterhin im Untersuchungsrahmen zu spezifizieren sind die Leistung der zu untersuchenden Produktsysteme, die Systemgrenze, die Anforderungen an die Datenqualität und die Allokationsverfahren. Sie müssen in den zu vergleichenden Produktsystemen äquivalent festgelegt werden. Die inhaltlichen Zielstellungen müssen sich also entsprechen damit die Systeme unter gleichen Annahmen untersucht werden können.

Die Wirkungsabschätzung ist bei einer zur Veröffentlichung vorgesehenen vergleichenden Aussage zwingend vorzunehmen. Dabei ist ein ausreichend umfassender Satz an Wirkungs-indikatoren respektive an Wirkungskategorien zu verwenden. Der Vergleich zwischen den Systemen ist für jeden Wirkungsindikator einzeln durchzuführen. An die Wirkungsindikatoren sind Mindest-anforderungen zu stellen. Sie müssen wissenschaftlich begründet und technisch gültig sein sowie Umweltrelevanz, d.h. eine ausreichend eindeutige Verbindung zu Wirkungsendpunkten, aufweisen. Die Anwendung der Gewichtung ist nicht erlaubt. Des Weiteren muss eine Analyse der Ergebnisse der Wirkungsabschätzung auf Sensitivität und Unsicherheit zwingend vorgenommen werden.

Als Grundlage für die Auswertung ist die Vergleichbarkeit der Produktsysteme nach den erwähnten Voraussetzungen zu beurteilen. Sind Unterschiede hinsichtlich der Vergleichbarkeit zwischen den Systemen vorhanden, müssen diese angeführt und erläutert werden. Zu beurteilen sind ebenfalls die Punkte Vollständigkeit, Konsistenz und Sensitivität der Ergebnisse.

Die Hauptanforderung an die Berichterstattung für eine vergleichende Aussage ist die uneingeschränkte Transparenz. Im Falle einer Veröffentlichung der vergleichenden Ökobilanz muss ein kritische Prüfung durch einen externen unabhängigen Kreis von Sachverständigen durchgeführt werden, in der insbesondere auf die Voraussetzungen für die Vergleichbarkeit der untersuchten Produktsysteme eingegangen werden muss. Im Speziellen ist die äquivalente Festlegung der Funktionen und der funktionellen Einheit zwingend zu überprüfen.

Vergleichende Ökobilanzstudien von Wohngebäuden

Aufbauend auf den Anforderungen an vergleichende Ökobilanzen nach DIN EN ISO 14040/14044 wird ein Kriterienkatalog erarbeitet um ausgewählte öffentlich zugängliche Studien im Themenbereich „Vergleichende Ökobilanz von Wohngebäuden“ untersuchen zu können. Das Augenmerk liegt hierbei auf der Überprüfung bzw. Einordnung der Studien im Hinblick auf die Erfüllung der Anforderungen nach Norm. Im Speziellen werden die Kriterien:

- Art der Studie,
- Zielfestlegung,
- Untersuchungsrahmen,
- Sachbilanz,
- Wirkungsabschätzung,
- Auswertung,
- Berichterstattung und
- und kritische Prüfung

sowohl quantitativ wie auch qualitativ für einzelne ausgewählte Studien betrachtet.

Insbesondere soll auf die Frage nach den Annahmen bzw. Werthaltungen, die den vergleichenden Ökobilanzstudien zugrunde gelegt werden, Auskunft gegeben werden als auch inwieweit den Anforderungen an die Normen bei der Durchführung tatsächlich entsprochen wird.

Als maßgebliche Studien wurden identifiziert:

- „Comparison of the Life Cycle Assessments of a Concrete Masonry House and a Wood Frame House”: Ökobilanzstudie, Portland Cement Association, USA (2008)0.
- „Comparison of the Life Cycle Assessments of an Insulating Concrete Form House and a Wood Frame House”: Ökobilanzstudie, Portland Cement Association, USA (2008).
- „Gegenüberstellung Massivhaus / Holzelementbauweise an einem KfW Energiesparhaus 40“: Ökobilanzstudie, Technische Universität Darmstadt, Deutschland (2008)0.
- „ÖkoPot“: Ökologische Potenziale durch Holznutzung gezielt fördern, Endbericht des Bundesministeriums für Forschung und Bildung, Deutschland (2008)0.
- „Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Wohngebäuden – eine Ökobilanz“: Ökobilanzstudie anhand verschiedener Niedrigenergiehäuser, Dietlinde Quack, Deutschland (2001).

Die aufgeführten Studien setzen sich vorwiegend mit dem ökologischen Vergleich von Wohngebäuden in Massivbauweise und in Holzelementbauweise auseinander.

Die Ergebnisse der Analyse können wie folgt zusammengefasst werden:

- Unterschiedliche Berücksichtigung der Anforderungen an die Normen DIN EN ISO 14040/4044, mit dem Ergebnis das häufig die kritische Prüfung bei Veröffentlichung der Studie vernachlässigt wurde,
- Festlegung der Systemgrenzen häufig ohne Betrachtung der Lebenszyklusphase Lebensende,
- Unterschiedliche Detailtiefe bezüglich der Transparenz der Berichterstattung,
- Nicht hinreichend genaue Festlegung von Funktionen, sinnvollen funktionellen Einheiten und Systemgrenzen,
- Sehr grobe Festlegung der Anforderungen an die Datenqualität, die Abschneide-kriterien und eine eventuelle Allokation,
- Probleme bei der Beschreibung von Charakterisierungsmodellen, Wirkungs-indikatoren und Charakterisierungsfaktoren für die Wirkungsabschätzung,
- Sowie eine nicht ausreichende Darstellung von Vollständigkeitsprüfungen, Sensi-tivitätsprüfungen und Konsistenzprüfungen.

Anforderungen an Ökobilanzen im „Deutschen Gütesiegel Nachhaltiges Bauen“

Im Zertifizierungssystem des „Deutschen Gütesiegel Nachhaltiges Bauen“ zur Bewertung der Nach-haltigkeit von Gebäuden, werden explizit die Ergebnisse einer Ökobilanz gefordert um diese in die Bewertung mit einfließen zu lassen. Für Bürogebäude werden dabei bereits konkrete objektive An-forderungen für die ökobilanzielle Untersuchung definiert. Diese sollen im Folgenden kurz umrissen werden, um für die Definition der Zielstellung und des Untersuchungsrahmens für einen ökologischen Vergleich zweier Beispielgebäude herangezogen werden zu können.

Das Gütesiegel betrachtet die Lebenszyklusphasen:

- Herstellung und Errichtung inklusive zugehöriger Vorstufen,
- die Nutzung (Instandhaltung der Baukonstruktion und Technischer Anlagen),
- den Betrieb (Versorgung des Gebäudes beispielsweise mit Strom und Wärme),
- die Verwertung/Entsorgung am Lebensende.

Als Bezugsgröße, gleichbedeutend mit der funktionellen Einheit nach den Normen DIN EN ISO 14040/14044, wird die Nettogrund-fläche in m² je Jahr festgelegt. Die Systemgrenze bezieht das Gebäude ohne Außenanlagen ein.

Für die Herstellung nach vollständigem Rechenverfahren müssen der Rohbau und der Ausbau wie gebaut einbezogen werden. Die Bauteile sind gemäß DIN 276 zu gliedern. Insbesondere müssen die Hüllflächen (beispielsweise Außenwände, Dach, Bodenplatten) sowie Innenwände und Geschoss-decken des Gebäudes mit einbezogen werden. Für die Mengenermittlung, die prüffähig und vollständig dargelegt werden muss, sind die Kostengruppen 300 (Baukonstruktion) und 400 (Technische Anlagen) maßgeblich. Der Baustellenbetrieb sowie der Transport können vorerst vernachlässigt werden.

Für die Nutzung sind die Anlagen zur Ver- und Entsorgung sowie die Instandsetzung einzubeziehen. Als Betrachtungszeitraum werden 50 Jahre angesetzt. Die Ergebnisse sind gemäß DIN 18960 zu gliedern und die Gruppen Ver- und Entsorgung (Betrieb, Kostengruppe 310) und Instandsetzung (Kosten-gruppen 410 und 420) zu unterscheiden. Insbesondere müssen für den Betrieb die Werte für den Endenergiebedarf für Strom und Wärme einbezogen sowie die Wärmeerzeugungsanlage benannt werden. Für die Instandsetzung müssen alle Materialien, Bauteile bzw. Oberflächen einbezogen werden für die eine Nutzungsdauer angesetzt wird, die unter dem Betrachtungszeitraum von 50 Jahren liegt. Es muss hierbei beachtet werden, dass die Bauteile unter technisch realistischen Rand-bedingungen ausgetauscht werden. Gegebenenfalls sind dazu aufgrund der Zugänglichkeit einer Schicht, mehrere Schichten auszutauschen. Die Entsorgung der ausgetauschten Bauteile ist ebenfalls zu berücksichtigen. Transporte können vernachlässigt werden.

Für die Betrachtung des Lebensendes (End-of-Life) müssen alle Verwertungs- und Entsorgungswege für alle Materialien und Baustoffe einbezogen werden, die sich zum Ende des Betrachtungszeitraums noch im Bauwerk befinden. Die Verwertung oder Entsorgung erfolgt baustoff- bzw. materialspezifisch Beispielsweise werden Metalle dem Recycling und Materialien mit einem Heizwert der thermischen Verwertung zugeführt. Der Aufwand für den Rückbau des Gebäudes wird vorerst nicht betrachtet. Für den Transport der Baumaterialien am Lebensende sind keine spezifischen Festlegungen getroffen worden.

Datengrundlagen und Literaturquellen, die im Rahmen der Ökobilanzierung im „Deutschen Gütesiegel“ Verwendung finden sind beispielsweise die „Ökobau.dat“ für Baustoff- und Gebäudedaten, der „Leitfaden Nachhaltiges Bauen“ beziehungsweise die VDI 2067 für die Nutzungsdauern von Bauteilen, die EnEV und die

DIN V 18599 Berechnungen für den Ausweis des Endenergiebedarfs für Strom und Wärme, sowie die Materiallisten und Ausführungs-pläne des Gebäudes zur Ermittlung von Flächen und Schichtaufbauten.

Übergeordnet wird zwischen dem Ausweis der Ergebnisse der Ökobilanzierung für die Baukonstruktion (Herstellung, Nutzung, End-of-Life) und dem Betrieb des Gebäudes unterschieden, wobei die Ergebnisse der einzelnen Lebenszyklusphasen separat anzugeben sind.

ZIELSTELLUNG UND UNTERSUCHUNGSRAHMEN FÜR DIE VERGLEICHENDE ÖKOBILANZ DER BEISPIELGEBÄUDE

Die Anforderungen an vergleichende Ökobilanzen aus den Normen DIN EN ISO 14040/14044, die Erkenntnisse der Literaturanalyse und die Anforderungen an Ökobilanzen aus dem „Deutschen Gütesiegel Nachhaltiges Bauen“ werden im Folgenden benutzt, um die Zielstellung und den Untersuchungsrahmen für ein Modell zur vergleichenden Ökobilanzierung von Wohngebäuden unterschiedlicher Bauweisen abzuleiten. Des Weiteren werden das Ziel und der Untersuchungsrahmen anhand zweier betrachteter Beispielgebäude konkretisiert.

Vorstellung der Beispielgebäude

Die untersuchten Beispielgebäude wurden auf nebeneinander liegenden Baufeldern errichtet und sind den gleichen klimatischen Beanspruchungen ausgesetzt. Für beide Gebäude liegen Grundrisse, Pläne und Schnitte sowie vorläufige Materiallisten und Berechnungen nach EnEV vor. Es handelt sich um äußerlich identische, freistehende Einfamilienhäuser in Massivbauweise und Leicht- bzw. Holzbauweise (Abbildung 1).

Als Material der tragenden Konstruktion der Massivbauweise wird ein Hochlochziegel eingesetzt. Die tragende Konstruktion der Holzbauweise ist vorrangig durch den Einsatz von Baumaterialien des Trockenbaus (Holzständerkonstruktion, Gipsbauplatten, Holzwolle-Leichtbauplatten) geprägt. Beide Beispielhäuser zeichnen sich durch gleiche Außenabmessungen, d.h. einen gleichen Gebäudegrundriss, gleiche Gebäudehöhen, gleiche Grundflächen sowie durch eine gleiche innere Raumaufteilung und ein gleiches A/V-Verhältnis in Höhe von 0,82m^{-1} aus.

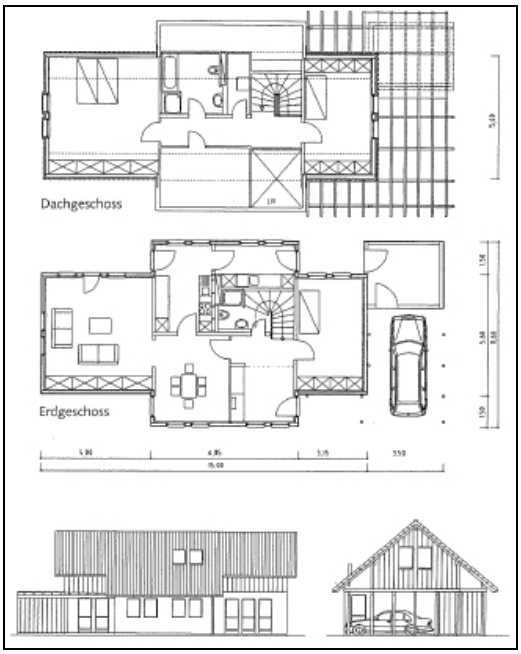

Abbildung 1 Ansicht und Grundriss für die betrachteten Beispielgebäude

Bedingt durch die unterschiedliche Bauweise und die gleichen Außenabmessungen variiert die Gesamtwohnfläche der Gebäude. Sie beträgt für das Einfamilienhaus in Holzbauweise 140,29m² und für die Massivbauweise 131,66m². Durch eine schlankere Außenbauteilkonstruktion bei vergleichbaren statischen und bauphysikalischen Eigenschaften entspricht das einem vermehrten Wohnraum für die Holzbauweise in Höhe von ca. 6,5% (9m²). Der Luftschallschutz der Außenwände beträgt für das Massivhauses ca. 50 dB sowie 48 dB für das Holzhaus. Ebenfalls vergleichbar in ihrer Größe sind die Wärmedurchgangskoeffzienten der Gebäude mit Werten von 0,398 W/m²K für die massive und 0,394 W/m²K für die leichte Konstruktion.

Zielstellung und Untersuchungsrahmen

Die vergleichende Ökobilanz richtet sich an Bauherren und Investitionsentscheider, an Planer (Architekten), Berater und Meinungsbildner, an politische Entscheidungsträger und kann in der Ausbildung sowie der Lehre Verwendung finden. Die Ergebnisse der Studie sind bislang nicht zur Veröffentlichung vorgesehen.

Die Zielstellung für die vergleichenden Ökobilanz wird durch die „ökologische Betrachtung eines Einfamilienhaus in konventioneller Mauerwerksbauweise und in Holzrahmenbauweise (Trockenbau mit hohem Vorfertigungsgrad der Bauelemente)“ festgelegt. Die betrachteten Gebäude werden über den Gebäudetyp, die Bauweise, die Materialien der tragenden Gebäudekonstruktion und den geometrischen Abmessungen sowie dem Standort (klimatische Bedingungen) beschrieben.

Die Gebäude erfüllen die Funktion die Bewohner vor der Umwelt zu schützen (beispielsweise vor Wärme, Feuchte und Kälte) sowie Wohnraum zur Nutzung bereit zu stellen. Als funktionelle Einheit wird das Bewohnen bzw. Bereitstellen von jeweils 1m² beheizter Wohnfläche für den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren über den gesamten Gebäudelebenszyklus definiert.

Es werden die Wirkungskategorien Treibhauspotenzial (GWP), Versauerungspotenzial (AP), Eutrophierungspotenzial (EP), Ozonschichtabbaupotenzial (ODP), und Photochemisches Oxidantienbildungspotenzial (POCP) nach dem Charakterisierungsmodell CML 2001 (Leiden) für die Wirkungsabschätzung betrachtet werden. Des Weiteren sollen die Indikatoren fossiler Primärenergiebedarf und erneuerbarer Primärenergiebedarf in die Auswertung eingeschlossen werden.

AUFBAU DES GEBÄUDEMODELLS FÜR DIE VERGLEICHENDE ÖKOBILANZIERUNG VON WOHNGEBÄUDEN

Allgemeiner Aufbau und Struktur

Mit Hilfe der Ökobilanz-Software GaBi wird basierend auf der Zielstellung und dem Untersuchungsrahmen ein hierarchisch strukturiertes Gebäudemodell aufgebaut, mit dem es möglich ist, beide Gebäude unter gleichen Voraussetzungen ökobilanziell zu betrachten.

Für den übergeordneten Aufbau des Modells werden die Lebenszyklusphasen, wie in Abbildung 2 dargestellt, durch die Baukonstruktion (d.h. die Herstellung, die Nutzung, das Lebensende) und den Betrieb (d.h. die Versorgung des Gebäudes) abgebildet.

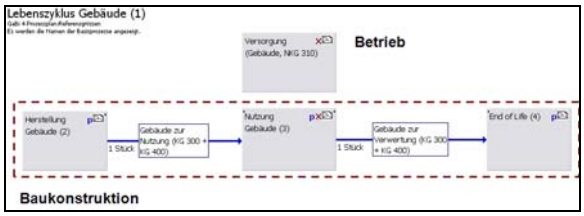

Abbildung 2 Modell des Gebäudelebenszyklus in GaBi 4

Das Modell wird vollkommen generisch und vollständig parametrisiert erstellt. Dabei werden beispielsweise variable:

- Volumina für Materialien (bspw. Beton),
- Flächen in m² für flächenintensive Materialien (Teppichboden, Anstriche,
- Massen in kg für einzelne Bauteile (bspw. Fenster und Türen) und einzelne Baustoffe (bspw. Bewehrungsstahl)

sowie fixe Rohdichten in kg/m³ für Baustoffe oder fixe Flächengewichte für Bauteile als Parameter im Modell festgelegt.

Herstellung

Die Herstellung wird anhand der Vorgaben für die Kostenstruktur im Hochbau nach DIN 276 gegliedert. Auf der übergeordneten Ebene wird hierbei in die Kostengruppe (KG) 300 „Baukonstruktion“ und KG 400 „Technische Anlagen“ unterschieden. Beispielhaft ist die weitere Untergliederungen des Modells für die KG 300 aus Abbildung 3 und Abbildung 4 ersichtlich.

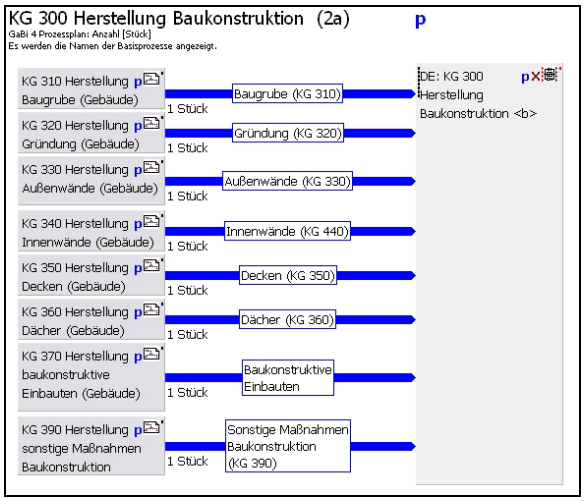

Abbildung 3 Gliederung der Kostengruppe 300 gemäß DIN 276 im Gebäudemodell in GaBi 4

Das Gebäudemodell auf der untersten Ebene aller Kostengruppen verdeutlicht Abbildung 4.

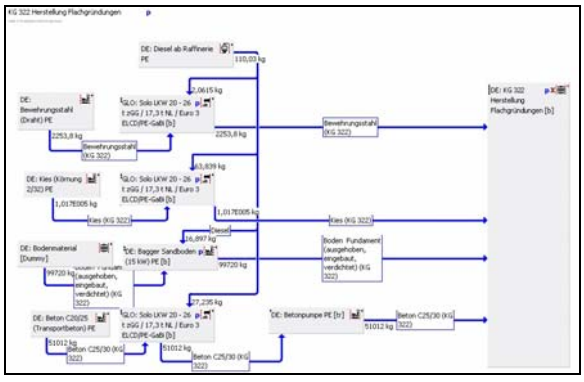

Abbildung 4 Herstellung der Flachgründung (KG 322 gemäß DIN 276) in GaBi 4

Die Prozesse auf der untersten Ebene werden als Basisprozesse modelliert. Die Input- und Outputflüsse der Prozesse repräsentieren die eingehenden Material- und Energieströme für die

Herstellung des entsprechenden Bauteils. Für die Herstellung der Flachgründung sind das beispielsweise der Bodenaushub, Kies, Beton und der Bewehrungsstahl für die Fundamente.

Transportprozesse vom Bauteilhersteller zur Baustelle werden mit berücksichtigt und über die Parameter Auslast der Transportfahrzeuge und die Entfernung zur Baustelle variiert.

Nutzung

Die Nutzung des Gebäudes wird im Modell durch die Instandsetzung der Baukonstruktion (KG 300), die Instandsetzung der technischen Anlagen (KG 400) und die Verwertung/Entsorgung der entsprechenden ausgetauschten Materialien abgebildet (Abbildung 5).

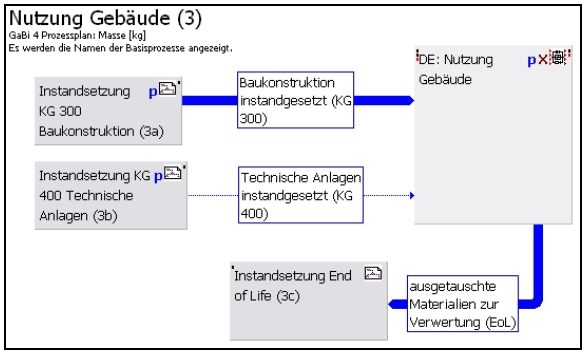

Abbildung 5 Modellierung der Nutzungsphase in GaBi 4

Für die Baustoffe/Bauteile, die im Rahmen der Instandsetzung auszutauschen sind und für den Betrachtungszeitraum für die Nutzung des Gebäudes werden variable Parameter definiert. Die Modellierung der Instandsetzung erfolgt analog der Modellierung der Herstellung der entsprechenden Bauteile getrennt nach Kostengruppen.

Es wird allgemein von einem Betrachtungszeitraum von 50 Jahren und mittleren Nutzungsdauern für Bauteile ausgegangen. Es werden vorerst Baustoffe/Bauteile aufgenommen, deren mittlere Lebensdauern unter der Zeitspanne des Betrachtungs-zeitraums liegen. Zusätzlich werden Baustoffe/ Baumaterialien abgebildet, die aus konstruktiven Gründen mit den zuvor beschriebenen Baustoffen/Baumaterialien verbunden und dadurch unabhängig von ihrer mittleren Nutzungsdauer auszutauschen sind. Über einen Nutzungsdauer-Faktor, wird die Menge an instand zu setzenden Materialien/Bauteilen bestimmt. Ausgetauschte Materialien werden einem Lebensende zugeführt, welches analog dem Lebensende des Gebäudes strukturiert wird.

Lebensende (End-of-Life)

Die Massen der Gebäudekonstruktion und der technischen Anlagen, die sich am Ende des Betrachtungszeitraums noch im Gebäude befinden, werden zum Lebensende berücksichtigt. Sie werden in Gruppen zusammen gefasst, wenn davon ausgegangen werden kann, dass sie mit anderen verbundenen Materialien in gleicher Art und Weise entsorgt bzw. verwertet werden können. Als Verwertungs- bzw. Entsorgungswege werden festgelegt (Abbildung 6):

- thermische Verwertung für Materialien mit Heizwert (beispielweise Polyvinylchlorid (PVC), textile Materialien, Polystyrol (PS) und Holz),
- Bauschuttaufbereitung für mineralische Baumaterialien (beispielsweise Kies und Beton),
- Recycling für Metalle mit einem Recyclingpotenzial (beispielsweise Edel-stahl, Aluminium, Titanzink)
- Deponierung für sonstige Materialien, die auf einer Deponie gelagert werden dürfen (beispielsweise Steinwolle und bituminöse Materialien).

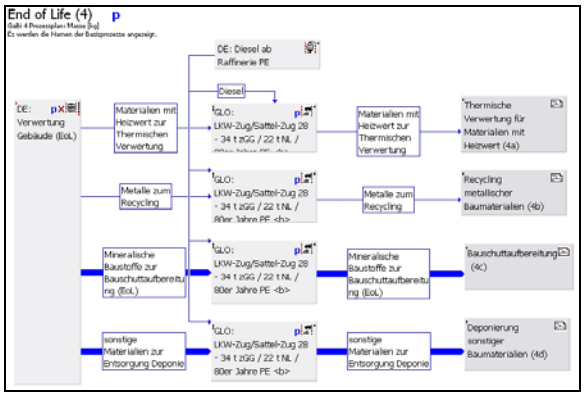

Abbildung 6 Modellierung des End-of-Life in GaBi 4

Es werden ebenfalls die Transportprozesse der Materialien zum Entsorger bzw. Verwerter eingeschlossen. Als Parameter werden die Auslast der Transportfahrzeuge und die Entfernung analog der Herstellung definiert.

Versorgung

Für die Modellierung der Versorgung (Gebäudebetrieb) werden der vom Gebäude benötigte Wärmebedarf für Heizung und Warmwasser sowie der Strombedarf eingeschlossen. Als Parameter werden der Endenergiebedarf für Heizung, Warm-wasser und Strom in kWh/m²a hinterlegt. Diese Angaben werden den EnEV-Berechnungen ent-nommen. Zusätzlich werden der

Betrachtungs-zeitraum und die Wohnfläche als variable Parameter definiert.

ANWENDUNG DES GENERISCHEN GEBÄUDEMODELLS

Im Folgenden wird die Anwendung des Gebäude-modells für die Ökobilanzierung der Massivkonstruk-tion, basierend auf vorläufigen Materiallisten, exemplarisch aufgezeigt.

Umweltwirkungen für den Gebäudelebenszyklus der Massivkonstruktion nach Lebenszyklusphasen

Abbildung 7 zeigt die Anteile der einzelnen Lebenszyklusphasen am gesamten Treibhauspotenzial sowie aufgeteilt nach Versorgung (Betrieb) und Konstruktion (KG 300 und 400) für das Massivhaus.

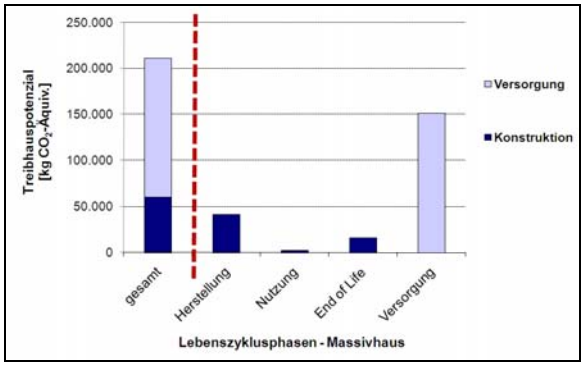

Abbildung 7 Anteile der einzelnen Lebenszyklusphasen in der Wirkungskategorie Treibhauspotential für das Massivhaus

Ersichtlich wird daraus insbesondere, dass die Auswirkungen des Gebäudebetriebs die Aus-wirkungen der Baukonstruktion überwiegen. Es wird ein Verhältnis des Anteils der Versorgung zur Konstruktion von etwa 70:30 ersichtlich.

Umweltwirkungen für den Gebäudelebenszyklus der Massivkonstruktion unterteilt nach Kostengruppen

Aus Abbildung 8 können Ergebnisse für die Herstellung der Baukonstruktion, gegliedert nach Kostengruppen, für die Wirkungskategorie Treib-hauspotenzial für das Massivhaus abgeleitet werden.

Hauptanteil am Treibhauspotenzial haben dabei die Kostengruppe 320 (Gründung) und Kostengruppe 350 (Decken), verursacht durch den Einsatz von Stahlbeton sowie die Kostengruppe 330 (Außen-wände), verursacht durch den Einsatz von Hochlochziegeln. Die Kostengruppe 340 (Innen-wände) weist einen geringeren Anteil auf, der ebenfalls durch den Einsatz von Hochlochziegeln sowie zusätzlich durch den Einsatz von Putz hervorgerufen wird.

In den Kostengruppe 360 (Dächer) und 370 (Bau-konstruktive Einbauten) wird der erneuerbare Baustoff Holz eingesetzt (beispielsweise in der Dachstuhlkonstruktion), welcher zu einem negativen Beitrag zum Treibhauspotenzial führt.

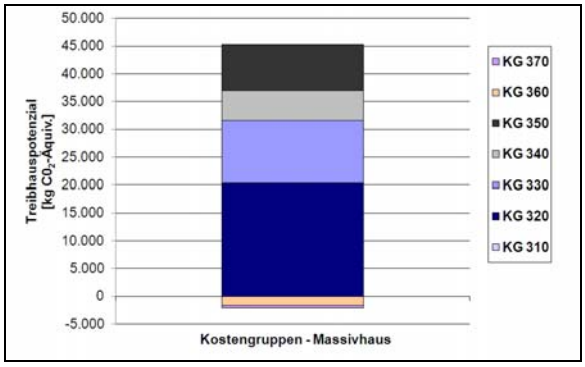

Abbildung 8 Ergebnisse der Herstellung der Baukonstruktion in der Wirkungskategorie Treibhauspotenzial gegliedert nach Kostengruppen für das Massivhaus

ZUSAMMENFASSUNG

Die vorgestellten Anforderungen an vergleichende Ökobilanzen von Wohngebäuden am Beispiel 1-2 Familienhaus wurden aus den allgemeinen Anforderungen nach DIN EN ISO 1040/14044 in Grundzügen abgeleitet. Für die spezifische Anwendung im Wohnbau wurden sie durch Anforderungen aus dem „Deutschen Gütesiegel Nachhaltiges Bauen“ ergänzt. Erkenntnisse aus der Literaturanalyse von vergleichenden Ökobilanz-studien von Wohngebäuden flossen ebenfalls ein. Als wichtigste Voraussetzung für den ökobilanziellen Vergleich hat sich ergeben, dass zwingend gleiche Funktionen, gleiche funktionelle Einheiten und gleiche Systemgrenzen für die zu untersuchenden Produktsysteme (Gebäude) festgelegt werden müssen. Im Fall einer Veröffentlichung hat zwingend eine kritische Prüfung zu erfolgen. Damit können objektive und qualitative Ergebnisse erzielt und Vertrauen in die gewonnenen Aussagen geschaffen werden.

Am Beispiel zweier Einfamilienhäuser wurde entsprechend den definierten Anforderungen die Zielstellung sowie der Untersuchungsrahmen für eine vergleichende Ökobilanz spezifiziert. Dies ist insbesondere wichtig, da sowohl die Festlegung der Zielstellung als auch die des Untersuchungsrahmens maßgeblich die Durchführung der Ökobilanz bestimmen. Darauf aufbauend wurde ein generisches Gebäudemodell entwickelt, welches sich durch seine klare Struktur (gegliedert nach Kostengruppen der DIN 276), seine vollständige Parametrisierung und die Möglichkeit der Abbildung unterschiedlicher Gebäude auszeichnet. Es berücksichtigt im Sinne eines vollständigen Gebäudelebenszyklus die

Herstellung, die Nutzung sowie die Versorgung und schließt ebenfalls das Lebensende ein. Zusätzlich wird auch der Transport bedacht. Damit können die Beispielgebäude unter denselben Voraussetzungen und unter Berücksichtigung der Anforderungen der Norm ökologisch vergleichend betrachtet werden. Die Anwendbarkeit des Modells konnte durch beispielhafte Auswertungen für das Massivhaus aufgezeigt werden. Analog können die Auswertungen für die Konstruktion in Holzelementbauweise im gleichen Modell durch Variation der Eingangsparameter (Materialien, Massen, etc.) vorgenommen werden.

AUSBLICK

Da die Anforderungen an vergleichende Ökobilanzen für Gebäude im Bauwesen bisher nicht verbindlich festgeschrieben wurden, könnte dies eine zukünftige Aufgabe, beispielsweise für den Gesetzgeber, darstellen. Ebenfalls sollten Charakterisierungs-modelle zur Abschätzung der potenziellen Umweltwirkung Anwendung finden können, die verbindliche und international akzeptierte Wirkungs-kategorien und Wirkungsindikatoren beschreiben.

Das vorgestellte Gebäudemodell, welches auf den erabeiteten Anforderungen für vergleichende Ökobilanzen von Wohngebäuden basiert, ist in seinem Grundgedanken generisch, parametrisiert und flexibel. Sofern es die Anwendung verlangt, ist es ist beliebig erweiterbar, beispielsweise um zusätzliche Baustoffe, Kostengruppen oder Bauprozesse. Szenario-Analysen werden durch die Veränderung der Modellparameter möglich (beispielsweise Veränderung der Baustoffmassen oder des Betrachtungszeitraums). Zukünftig kann es nicht nur für den Vergleich von Wohnbauten, sondern auch für den Vergleich im Nichtwohnungsbau heran gezogen werden. Im entsprechenden Fall sollte dann allerdings darauf geachtet werden, die Zielstellung und den Untersuchungsrahmen der Ökobilanz entsprechend festzulegen. In Verbindung mit einem wirtschaft-lichen und technischen Vergleich der zu unter-suchenden Gebäude ist mit dem Modell ein Werkzeug geschaffen, dass in der Lage ist, Aussagen zur ökologischen Überlegenheit oder Gleichwertig-keit von Wohngebäuden zu treffen und das „öko-logische Häuschen im Grünen“ zukünftig unter objektiven Gesichtspunkten identifizieren zu können.

LITERATUR

Albrecht, S.; et al..2008. ÖkoPot - Ökologische Potenziale durch Holznutzung gezielt fördern. Verbundprojekt: ÖkoPot – Abschlussbericht zum BMBF-Projekt FKZ 0330545. Herausgegeben vom Lehrstuhl für Bauphysik Abteilung Ganzheitliche Bilanzierung Universität Stuttgart, Zentrum Holzwirtschaft Universität Hamburg, PE International GmbH und Knauf Consulting GbR. Stuttgart, Hamburg, Germany.

DGNB - Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V. 2010. Stuttgart, Deutschland. Online: URL: www.dgnb.de.

DIN 276-1:2008. Kosten im Bauwesen. Teil 1: Hochbau. Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag, Berlin (2008).

Graubner, C.-A.; Knauff, A.. 2008. Ökobilanzstudie - Gegenüberstellung Massivhaus / Holzbauweise. Gegenüberstellung Massivhaus / Holzelementbauweise an einem KfW Energiesparhaus 40. Forschungsbericht F04-8-2008. Herausgegeben von Institut für Massivbau Fachbereich 13 Bauingenieurwesen und Geodäsie Technische Universität Darmstadt. Darmstadt, Deutschland.

Guinée, J. et. al.. 2001. Handbook on Life Cycle Assessment - Operational Guide to the ISO Standards. Centre of Environmental Science, Leiden University (CML). Leiden, Niederlande. ISBN: 978-1-4020-0557-2.

Heijungs, R. et al.. 1992. Environmental Life Cycle Assessment – Guide & Background. Centrum voor Milieukunde (CML), Leiden, Niederlande.

ISO 14040:2006: Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen. 2006. Berlin, Deutschland.

ISO 14044:2006: Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen. 2006. Berlin, Deutschland.

Marceau, Medgar L. et al.. 2008. Comparison of the Life Cycle Assessments of a Concrete Masonry House and a Wood Frame House. Herausgegeben von Portland Cement Association. Skokie, Illinois, USA.

Marceau, Medgar L. et al..2008. Comparison of the Life Cycle Assessments of an Insulating Concrete Form House and a Wood Frame House. Herausgegeben von Portland Cement Association. Skokie. Illinois, USA.

PE, LBP. 2009. GaBi 4, Software-System und Datenbanken zur Ganzheitlichen Bilanzierung. Copyright, TM. Stuttgart, Echterdingen, Deutschland.

Quack, D.: Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Wohngebäuden - eine Ökobilanz. Demonstrationsprojekt: Niedrigenergiehäuser Heidenheim. Herausgegeben von Öko-Institut e.V., Freiburg (2001).