

PRODUKTMODELL-BASIERTE ÖKOLOGISCHE LEBENSZYKLUS- UND KOSTENANALYSE FÜR BAUWERKE

Martin Egger¹, Christoph van Treeck¹, Ernst Rank¹, Martin Steger²

¹Lehrstuhl für Bauinformatik, Technische Universität München, München, Germany

²COPLAN AG, Eggenfelden, Germany

KURZFASSUNG

Bauwerke benötigen über ihre gesamte Lebensdauer erhebliche Energie- und Rohstoffressourcen. Um diesen gesamten Bedarf besser abzuschätzen und zu optimieren wurden am Lehrstuhl für Bauinformatik in Zusammenarbeit mit der Firma COPLAN AG aus Eggenfelden Programmwerkzeuge entwickelt, die die Erstellung einer ökologischen Lebenszyklusanalyse auf der Grundlage eines Produktmodells aus dem Bauwesen automatisieren und beschleunigen. Diese Werkzeuge ermöglichen es, bereits in der frühen Planungsphase eine schnelle Abschätzung des Energie- und Ressourcenbedarfs über die gesamte Lebensdauer eines Bauwerks inklusive Rückbau und Recycling zu erstellen. In einem Pilotprojekt wurden diese Bilanzierungswerkzeuge um die Fähigkeit zur Erstellung einer Kostenabschätzung für die Herstellungs- und Nutzungsphase eines Bauwerks erweitert.

ABSTRACT

The utilization and maintenance is a determining ecological and economical factor in the life cycle of buildings, compared to the construction and deconstruction phases. To estimate and to further reduce this requirement of resources at the Munich Institute for Computational Civil and Environmental Engineering software tools have been developed in cooperation with the German consulting and engineering company COPLAN AG. The purpose is to automate and to accelerate the creation of numerical models for a life cycle analysis and for estimating construction and maintenance costs using a product model based approach.

LEBENSZYKLUSANALYSE VON BAUWERKEN

Bauwerke benötigen nicht nur für ihre Herstellung und während ihrer Nutzungsphase erhebliche Energie- und Rohstoffressourcen sondern produzieren auch bei ihrem Rückbau sehr große Mengen an Bauschutt. In Deutschland verursachen Haushalte etwa ein Drittel des gesamten Endenergieverbrauches und über 60 % der Gesamtabfallmasse stammt aus dem Baubereich (Umweltbundesamtes, 2005). Durch neue gesetzliche Auflagen im Bereich des Umweltschutzes

und durch das wachsende gesellschaftliche Umweltbewusstsein besteht im Bauwesen zunehmender Handlungsbedarf darin, Emissionen zu reduzieren, sowie Energie und Ressourcen einzusparen. Diesen gesamten Energie- und Ressourcenbedarf abzuschätzen und zu reduzieren, darf aus planerischer Sicht nicht erst nach Fertigstellung des Bauwerks erfolgen, sondern muss bereits in die Planungsphase Einzug halten. Denn nur dort können frühzeitig ausschlaggebende Entscheidungen getroffen werden, um die Umwelt zu schonen und Kosten zu reduzieren.

Dabei lassen sich im Bauwesen durch moderne Baumaterialien und neue Bau- und Recyclingmethoden (SFM, 2005) erhebliche Ressourcen einsparen. Dies bedeutet auch Kosten für die Materialgewinnung, für die Baustoffherstellung, für den Betrieb und die Nutzung zu reduzieren. Somit haben die ökologische Bewertung und Optimierung von Gebäuden einen direkten Einfluss auf die Herstellungs- und Betriebskosten.

Eine geeignete und viel verwendete Methode für die Bilanzierung des Energie- und Ressourcenbedarfs ist die Lebenszyklusanalyse (LCA). Dabei werden alle Prozesse eines Produktes über die gesamte Lebensdauer, ausgehend von der Herstellung über die Verwendung bis zur Entsorgung bzw. Recycling, berücksichtigt. Normen und festgelegte Bilanzierungsverfahren ermöglichen dabei eine standardisierte Vorgehensweise und gewährleisten auch eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse. Dem wurde 1997 mit der Einführung der europäischen Normen EN ISO 14040 („Prinzipien und allgemeine Anforderungen an Ökobilanzen“), EN ISO 14041 („Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie Sachbilanz“), EN ISO 14042 („Wirkungsabschätzung“) und EN ISO 14043 („Auswertung“) Rechnung getragen, die auch bei den hier vorgestellten Bilanzierungsmethoden berücksichtigt werden.

Die Grundlage für eine ökologische Bilanzierung bildet eine Datenbasis über die entsprechenden Baustoffe und Materialkennwerte. Hierin liegt auch ein großer Einflussfaktor für die Ergebnisse von Bilanzierungen. Die Materialkennwerte von Baustoffen variieren nicht nur aufgrund umweltrelevanter Einflüsse sondern auch aufgrund verschiedener Herstellungsprozesse sehr stark. Nach EN ISO 14041 muss dazu

ein Untersuchungsrahmen festgelegt werden, der die Prozessketten und die Systemgrenzen für die Baumaterialherstellung definiert. Damit lässt sich eine einheitliche Datenbasis aufstellen, die eine konsistente Vorgehensweise bei der Bilanzierung und eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleistet. Im BayFORREST Forschungsprojekt F219 "Internetbasierte Simulation des Ressourcenbedarfs von Bauwerken" (Eggerlein & Neuberger, 2004) wurde in Zusammenarbeit mit der Firma COPLAN AG nach diesen Aspekten eine Internet-Datenbank mit verschiedenen Material- und Baustoffkennwerten erstellt.

Ziel des Forschungsprojektes F219 war es, ein Softwarekonzept zu entwickeln und umzusetzen, das den Planer bereits in der frühen Planungsphase eines neuen Bauwerks dabei unterstützt, ökologische Bewertungen seiner Entwürfe möglichst einfach und schnell anzufertigen, zu beurteilen und gegenüberzustellen. Die grundlegende Idee dabei war die Erstellung eines zentralen Informationsmodells für ein Bauprojekt, auf das verschiedene Werkzeuge für die Berechnung und Auswertung über standardisierte Schnittstellen zugreifen können. Dazu wird das IFC-basierte Produktmodell des Architectural Desktop (ADT) von Autodesk verwendet, das nicht nur als Geometriemodellierungswerkzeug, sondern auch als Plattform für eigene Softwareprogramme dient. Über die integrierte C++ - Programmierschnittstellen Autodesk ObjectARX und OMF wurde der ADT so erweitert (Egger, 2003), dass der Planer direkt im CAD-Programm bei der materialspezifischen Erweiterung und bei der ökologischen Analyse des Produktmodells unterstützt wird. Das Gebäudemodell wird dabei mit zusätzlichen, materialspezifischen Daten aus einer Baustoffdatenbank erweitert. Durch die Nutzung des Internets kann eine große Anzahl an Planern auf eine einheitliche Datenbasis zurückgreifen. Bei der Produktmodellauswertung werden verschiedene ökologische Bilanzierungen durchgeführt. Im Projekt F219 entstanden dabei Softwaremodule für die Energie- und Ökobilanzierung, sowie für die Auswertung des kumulierten Energie- und Stoffaufwandes (Fritsche et al. 1999), die Methode der ökologischen Knappheit (BUWAL 1990), die CML-Methode (Heijungs 1992) und die Eco-Indicator 95 Methode (Goedkoop 1995). Dabei werden nicht nur Daten für die Erstellung des Gebäudes, sondern auch für die Nutzungs- und Rückbauphase (Stengel, 2005), also für den gesamten Lebenszyklus, berücksichtigt. Im daran anschließenden BayFORREST Projekt F235 (Wassouf, 2005) wurde diese LCA-Software um die Unterstützung der technischen Gebäudeausstattung (TGA) in der Energie- und Ökobilanzierung erweitert.

KOSTENANALYSE VON BAUWERKEN

Motivation für die Durchführung des Pilotprojektes zur produktmodellbasierten Lebenszyklusanalyse von

Industriegebäuden war, die Vorteile der integralen produktmodellbasierten Herangehensweise im industriellen Umfeld zu demonstrieren, die vorhandenen LCA-Programme auf die Anwendbarkeit bei Industriegebäuden zu testen und die Methoden und Auswertungsverfahren an die Bedürfnisse der Industrie anzupassen. Besonderes Interesse galt dabei auch der Erweiterung der LCA-Software um Methoden zur Berücksichtigung der Herstellungs- und Unterhaltskosten. Die Firma COPLAN AG übernahm hierbei eine besondere Rolle bei der Vermittlung zwischen Industriepartnern und bei der Beratung aus der Sicht der Baupraxis.

In den Unternehmen sind oft sehr viele Informationen und Erfahrungswerte zu den einzelnen Gebäuden hinsichtlich Investitions-, Wartungs-, Störungsbehebungs-, Instandsetzungs- und Betriebskosten vorhanden. Diese sind jedoch meist auf mehrere Personen im Unternehmen verteilt. Zusätzlich besitzt jede Kostenart ihre eigene Zeitkomplexität, die es bei der Bilanzierung zu berücksichtigen gilt. Während Reinigungskosten ein sehr kurzes Zeitintervall von mehreren Stunden bis wenigen Tagen aufweisen und Wartungskosten, aufgrund einer Gewährleistungsfrist, erst nach ein bis zwei Jahren auftreten, können Störungsbehebungskosten nur sehr schwer vorhergesagt werden. Da diese Kostenart nicht vernachlässigt werden kann, muss sie mittels eines Rechenmodells möglichst gut angenähert werden. Dazu wird für jedes Bauteil ein Abnutzungsvorrat definiert. Dieser Vorrat beträgt nach der Herstellung hundert Prozent und nimmt alterungsbedingt ab. Nach einer gewissen Zeit erreicht der Abnutzungsvorrat eine bestimmte Grenze, an der aus wirtschaftlichen Gründen eine Instandsetzung des Bauteils vorgenommen wird.

Anhand eines bestehenden Bauobjektes wurde untersucht, ob sich durch die Bündelung dieser Informationen und Erfahrungswerte zu den einzelnen Kostenarten ein Mehrwert und eine bessere Effizienz für das Unternehmen nicht nur für die Planung sondern auch für die Nutzungs- und Erhaltungsphase ergibt.

Dazu wurde zunächst ein Referenzgebäude, eine Industriegroßhalle mit einer Fläche von ca. 20.000 m² und einer Höhe von 15 m im ADT als Rohbaumodell abgebildet. Die Hallenfassade besteht dabei aus einer Kassetten-Trapezblech-Konstruktion und großen Flächen von Industrieverglasung. Um dieses Gebäude besser beurteilen zu können, wurde ein Vergleichsgebäude modelliert, das Stahlbetonsandwichelemente als für Industriehallen ebenfalls typische Fassadenkonstruktion verwendet.

Bei den Recherchen zu den verschiedenen Kostenkategorien des Referenzgebäudes zeigte sich ein uneinheitliches Bild. Probleme gab es dabei, einen Überblick über die Informationsträger zu erhalten. So war für fast jede Bauteilkategorie oder Kostengruppe, wie Tür und Toranlagen, Dach, Fassade, Reinigung,

Heizung und Klima, Beleuchtung, Wasser- und Stromversorgung, ein anderer Ansprechpartner zuständig. Die Investitionskosten konnten zunächst ohne Schwierigkeiten ermittelt und in das Produktmodell eingepflegt werden. Da sich die Ermittlung der Unterhaltskosten als sehr zeitaufwendig herausstellte und um den Projektzeitrahmen nicht zu gefährden, beschränkte man sich in der Pilotstudie auf die Wartungs-, Störungs- und Instandsetzungskosten. Die Betriebskosten wurden zunächst vernachlässigt.

Nachdem die Erstellung der Modelle für das Referenz- und das Vergleichsgebäude und die Erweiterung mit Daten beendet war, wurden verschiedene Simulationen und Analysen durchgeführt. Neben der ökologischen LCA wurde eine Kostenbilanz für die Erstellungs- und für die Nutzungs- und Erhaltungsphase erstellt. Zusätzlich wurde das Referenzmodell mittels eines einfachen Monatsbilanzverfahrens hinsichtlich des thermischen Verhaltens untersucht. Alle dazu benötigten Informationen konnten dabei direkt aus den Modellen und ohne erneute Eingabe automatisch in der Bilanzierungssoftware übernommen werden.

Bei den Ergebnissen der ökologischen Sachbilanz lies sich feststellen, dass der Referenzentwurf einen sehr hohen CO-Anteil aufweist. Dieser ist auf die Verwendung von Aluminium-Trapezblechen als Baumaterial für die Fassade zurückzuführen. Hier und auch hinsichtlich der anderen betrachteten Einflusswerte zeigt sich das Vergleichsgebäude um einiges günstiger. Bei den Herstellkosten jedoch wendet sich das Blatt. Durch die aufwendige Fassadenkonstruktion mit Sandwichelementen weist das Vergleichsgebäude erheblich höhere Investitionskosten auf. Bei der durchgeführten Wärmebilanz zeigte sich für die geographische Lage der Referenzhalle ein anderes Bild verglichen mit Analysen aus dem Bereich des Wohnungssektors. Über ein Jahr gesehen überwog nicht die Heiz- sondern die Kühlphase. Ursache dafür ist zum einen die leichte Bauweise und zum anderen die Abwärme der Beleuchtung und der installierten Maschinen.

ZUSAMMENFASSUNG

Die vorgestellten Softwareprogramme und die implementierten Bilanzierungsmethoden verringern den Aufwand für das Erstellen von lebenszyklusbezogenen Simulationen im Bauwesen. Dies erlaubt Planern, bereits in der frühen Planungsphase verschiedene Varianten eines Gebäudes nach unterschiedlichen Gesichtspunkten zu analysieren und zu beurteilen. Damit können Energie- und Rohstoffressourcen und die Umweltbelastungen sowie auch Kosten reduziert werden.

Im Pilotprojekt wurde die entwickelte LCA-Software an einem aussagekräftigen Gebäude erprobt und validiert. An den Gebäudemodellen wurden neben

den ökologischen Bilanzierungen auch Analysen zu den Herstellungs-, Instandsetzungs-, Wartungs-, und Störungskosten durchgeführt. Hierbei konnten eine Reihe von Vorteilen der produktmodellbasierten Planung und Simulation aufgezeigt werden. Durch die zentrale Datenhaltung und die Bereitstellung standardisierter Schnittstellen können alle an einem Projekt beteiligten Personen auf das Modell zugreifen. Zudem erleichtert eine Bündelung der Informationen nicht nur den Überblick über die Informationsträger und beschleunigt den eigentlichen Informationserhalt, sondern sichert auch die Weitergabe an neue Informationsträger. Mit dem Pilotprojekt konnten auch viele neue Erkenntnisse über die Bedürfnisse und Erwartungen der beteiligten Partner in die produktmodellbasierte Lebenszyklusanalyse von Industriegebäuden gewonnen werden.

LITERATUR

- BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft). 1990. Methodik für Ökobilanzen auf der Basis ökologischer Optimierung. Schriftenreihe Umwelt Nr. 133. Bern.
- Egger, M. 2003. Ökologische Bewertungsmethoden auf der Grundlage eines Bauwerkmodells. Forum Bauinformatik: 250-259. Aachen. Shaker.
- Ekkerlein, C & Neuberg, F. 2004. Internet-basierte Simulation des Ressourcenbedarfs von Bauwerken. Abschlussbericht BayFORREST Projekt F219. München.
- Fritsche, R., Jenseit, W. & Hochfeld, C. 1999. Methodikfragen bei der Berechnung des kumulierten Energieaufwandes (KEA). Arbeitspapier im Rahmen des uba-F&E Vorhabens Nr. 104 01 123, öko-Institut. Darmstadt.
- Goedkoop, M. 1995. The ecoindicator 95. NOH report 9523. Amersfoort.
- Heijungs et al. 1992. Environmental life cycle assessment of products, guide and backgrounds. LCA Centrum voor Milieukunde Leiden (CML).
- SFM. 2006. Leitfaden Stoffflussmanagement Bauwerke, www.sfm-bauwerke.de. Broschüre. München.
- Stengel, T. 2005. Nachhaltige Kreislaufführung mineralischer Baustoffe. Abschlussbericht BayFORREST Projekt F236. München.
- Umweltbundesamt. 2005. Abfallaufkommen nach Branchen 1996-2003. www.umweltbundesamt.de.
- Wassouf, Z. 2005. Simulation des Ressourcenbedarfs von Bauwerken, Integration eines Produktmodells der technischen Gebäudeausstattung. Abschlussbericht BayFORREST Projekt F235. München.