Helmut Floegl
Christina Ipser

Kosten und Ressourcen im Gebäudelebenszyklus

Die Donau-Universität Krems, das Österreichische Institut für Bauen und Ökologie, die Österreichische Energieagentur und SERA energy & resources forschen gemeinsam im Projekt LEKOECOS: Lässt sich ein Lebenszyklusmodell für Gebäude zur gleichzeitigen Berücksichtigung der unterschiedlichen Ziele ökonomischer und ökologischer Nachhaltigkeit schaffen? Und mehr noch: Gibt es ein gemeinsames, weiter gestecktes Ziel der ökonomisch-ökologischen Nachhaltigkeit, das es ermöglicht, Kosten und Ressourcenverbräuche aufeinander abgestimmt zu optimieren?

DIE PROJEKTIDEE

Das Ziel des noch bis 31. Jänner 2014 laufenden FFG-finanzierten Projekts LEKOECOS ist es, ein einfach anzuwendendes Werkzeug zur Ermittlung der lebenszyklischen Ressourcenverbräuche von Gebäuden zu schaffen. Dieses Werkzeug soll vor allem in der Gebäudeplanung einsetzbar sein und wird ein neues Gebäudelebenszyklusmodell enthalten, das auf dem FFG-geförderten Lebenszykluskostenmodell LEKOS der Donau-Universität [1] und dem ökologischen Materialbewertungstool ECOSOFT des Österreichischen Instituts für Bauen und Ökologie (IBO) aufbaut. Je früher im Lebenszyklus ein strategisches Ressourcenmanagement erfolgt, desto effektiver ist es.

Das resultierende LEKOECOS Gebäudelebenszyklusmodell soll daher die ökonomische und ökologische Optimierung bereits in der frühen Planungsphase ermöglichen, zu einem Zeitpunkt also, zu dem grundlegende Entscheidungen getroffen werden und noch viele Änderungsmöglichkeiten bestehen. Lebenszykluskostenberechnungen sind für die an der Errichtung, am Betrieb und der Nutzung Beteiligten interessant, weil sie die Möglichkeit bieten, schon in der Planungsphase die langfristige Leistbarkeit von Immobilien abzuschätzen, während ökologische Kennzahlen wie das Treibhauspotenzial und deren Optimierung vor allem für die ökologische Nachhaltigkeit, aber auch in Hinblick auf zukünftige Umweltsteuern wie etwa eine CO_2-Steuer Bedeutung haben.

DIE AUSGANGSSITUATION: DAS LEBENSZYKLUSKOSTEN-PROGRAMM LEKOS UND DIE ÖKO-SOFTWARE ECOSOFT

Das Excel-basierte Materialbewertungstool ECOSOFT wurde vom IBO entwickelt und dient zur ökologischen Bewertung von Baukonstruktionen und haustechnischen Komponenten im Bereich Neubau und Sanierung von Gebäuden. Die Grundlage der Berechnungen bildet die IBO Richtwerte-Tabelle mit ökologischen Kenndaten zu über 500 Materialien. Sie wird standardmäßig mit dem Programm mitgeliefert, es können jedoch auch andere Datensätze in das Programm eingespielt werden. Folgende ökologische Kennwerte können berechnet werden: Treibhauspotenzial (GWP), Versauerungspotenzial (AP), Bedarf an erneuerbarer und nicht erneuerbarer Energie (PEI e, PEI ne), Bildung von Photooxidantien (POCP), Eutrophierung (EP), OI3 Index (Kennzahl aus GWP, AP, PEI), Entsorgungsindikator (EI). Die Berechnungsergebnisse werden in Form eines Gebäude-Ökologieausweises übersichtlich dargestellt. Der Ermittlung dieser ökologischen Kennwerte beruht auf der genormten Methode der Ökobilanzierung (Life Cycle Assessment). Dabei werden die Umweltwirkungen von Produkten, Dienstleistungen oder Prozessen systematisch über bestimmte Lebensphasen oder über den gesamten Lebensweg ermittelt.

LEKOS, das Lebenszykluskostenprognosemodell für Gebäude der Donau-Universität Krems, entstand aus dem vom Klima- und Energiefonds im Programm „ENERGIE DER ZUKUNFT“ geförderten Grundlagenforschungsprojekt „Lebenszykluskosten von Gebäuden“. Der Prozess der Modellentwicklung lieferte zugleich die Basis für die neuen genormten Lebenszykluskostenstrukturen in der ÖNORM B1801-2. Seit 2009 wurden mit LEKOS für unterschiedliche neu errichtete und generalsanierte Wohngebäude, Bürogebäude und Geschäftszentren umfassende Analysen und Parameterstudien gemäß ÖNORM B1801-2 durchgeführt.

Es wurden Lebenszykluskostenkennwerte ermittelt und daraus Planungsempfehlungen für optimierte Folgekosten generiert. Die aktuelle Version von LEKOS ist seit 2012 als Produkt der Bausoftware ABK der Firma ib-data erhältlich. Das LEKOS-Modell ist den aktuellen ÖNORMEN B 1801-1 und B1801-2 entsprechend strukturiert und transpa-

rent aufgebaut. Es enthält keine Datenbank, ist jedoch mit verschiedenen Voreinstellungswerten hinterlegt.

DIE PHASEN UND GRENZEN DER ÖKONOMISCHEN UND ÖKOLOGISCHEN NACHHALTIGKEIT VON GEBÄUDEN

Eine wesentliche Herausforderung des LEKOECOS-Projektes ist die konsistente Zusammenführung unterschiedlicher Betrachtungsweisen.

Abbildung 1 zeigt zwei übliche Betrachtungsweisen der ökonomischen und ökologischen Nachhaltigkeit über den Lebenszyklus eines Gebäudes.

> Abb. 1

Die Lebenszykluskosten sind die Gesamtkosten, die ein Gebäude in seinem Lebenszyklus verursacht. Sie werden den Normen entsprechend in Errichtungs- und Folgekosten unterteilt. Errichtungskosten sind jene Kosten, die in der Planungs- und Errichtungsphase entstehen, während sich die Folgekosten aus den Nutzungskosten, die während der Nutzungsphase anfallen, und den Kosten für Abbruch und Entsorgung des Gebäudes zusammensetzen.

Die Lebenszykluskosten können als Kennzahl für ökonomische Nachhaltigkeit eines Gebäudes gesehen werden.
Für die Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit von Gebäuden wird häufig jene Phase vor der Planung und Errichtung betrachtet, in der die Baustoffe und Bauteile des Gebäudes produziert werden. Aus ökologischer Sicht sind neben den übrigen Lebenszyklusphasen außerdem auch Prozesse interessant, die nach Abbruch und Entsorgung des Gebäudes stattfinden, wenn Materialien und Bauteile wiederverwendet oder rückgewonnen werden. Betrachtet man nur die Herstellung der Materialien und Baustoffe von der Rohstoffgewinnung bis zur Auslieferung am Werkstor, so spricht man von einer Cradle-to-Gate-Betrachtung, während eine Ausweitung über die Planungs-, Errichtungs- und Nutzungsphase bis hin zum Abbruch einer Cradle-to-Grave-Betrachtung entspricht. Schließt man den ökologischen Zyklus durch Rückgewinnung und Wieder- oder Weiterverwertung der Baurestmassen, dann spricht man von Cradle-to-Cradle.

DAS KONZEPT FÜR DAS NEUE ÖKONOMISCH-ÖKOLOGISCHE LEBENSZYKLUSKOSTENMODELL LEKOECOS

Den unterschiedlichen Sichtweisen der Ökonomie und Ökologie entsprechend, unterscheiden sich auch die Berechnungsmodelle LEKOS und ECOSOFT grundlegend in Bezug auf ihre Datenstruktur und die verwendeten Detailniveaus. Während die Lebenszykluskostenanalyse auf einem „durch die Kostenbrille betrachteten“ aggregierten Niveau erfolgt, arbeitet ECOSOFT auf der detaillierten Ebene von Elementen (Baukonstruktionen, Bauteile und Haustechnik).

Eine Analyse der Basismodelle zeigte, dass das Lebenszykluskostenprogramm LEKOS nicht nur eine wesentlich komplexere Modellstruktur aufweist als das ökologische Materialbewertungstool ECOSOFT, sondern auch eine umfassende Betrachtung des gesamten Gebäudelebenszyklus ermöglicht. Daher wurde die Entscheidung getroffen, das LEKOECOS-Modell auf der bestehenden Modellstruktur des Lebenszykluskostenprogramms LEKOS aufzubauen und die ökologische Betrachtung mit Hilfe von Modellteilen des ECOSOFT Modells zu ergänzen.

Abbildung 2 zeigt schematisch die im Modell LEKOECOS erfassten Kosten und Umweltwirkungen über den gesamten Lebenszyklus.

Die farbliche Markierung zeigt an, welche bestehenden Teile der Basismodelle adaptiert und verwendet werden können, und welche Modellerweiterungen erforderlich sind. Während mit dem Lebenszykluskostenmodell LEKOS (anthrazit) der gesamte Gebäudelebenszyklus recht gut abgedeckt werden kann, eignet sich das ECOSOFT-Tool (mittelgrau)

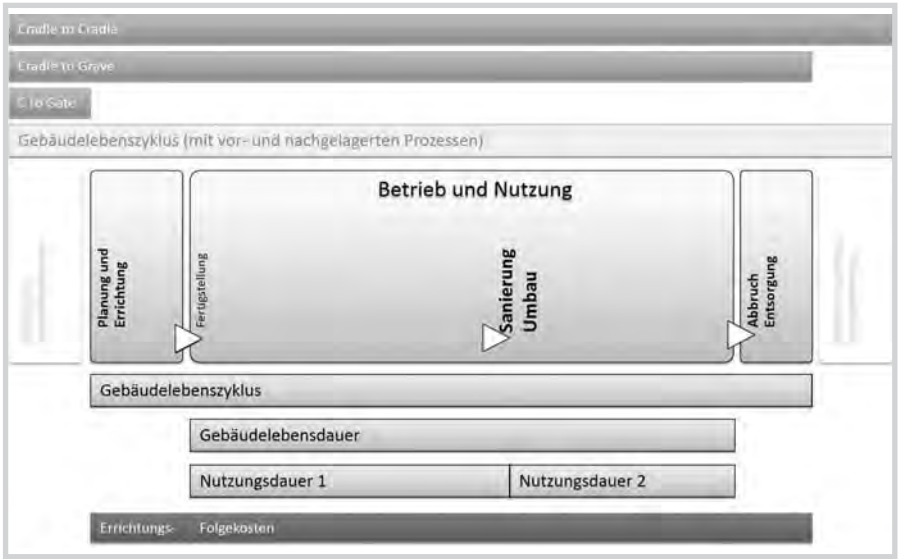

Abb. 1: Kosten und Ressourcen im Gebäudelebenszyklus

vor allem für die ökologische Bewertung der in Rohbau und Ausbau sowie in der Haustechnik enthaltenen Baustoffe und Bauteile. Daher werden Modellteile ergänzt (hellgrau), die eine ökologische Bewertung der Lebenszyklusphasen Planung und Errichtung, Betrieb und Nutzung sowie Abbruch und Entsorgung bzw. Recycling ermöglichen.

> Abb. 2

In der Errichtungsphase sollen mit dem LEKOECOS-Modell Umweltwirkungen aus dem Transport der Baustoffe und Bauteile zur Baustelle und aus den Materialverlusten beim Errichtungsprozess abgebildet werden können.

Die Energieverbräuche beim Errichtungsprozess werden nur teilweise berücksichtigt, da sie im Vergleich zu den lebenszyklischen Energieverbräuchen vernachlässigbar sind. Die Umweltwirkungen der Betriebs- und Nutzungsphase ergeben sich zu einem großen Teil aus dem Energieverbrauch im Gebäudebetrieb.

Im LEKOECOS-Modell sollen jedoch nicht nur diese, sondern auch jene Umweltwirkungen abgebildet werden können, die durch Dienstleistungen zustande kommen, die unmittelbar mit dem Gebäudebetrieb zusammenhängen – etwa die Gebäudeverwaltung oder Wartungs- und Reinigungsdienste.

DIE ERGEBNISSE DER ÖKONOMISCH-ÖKOLOGISCHEN BERECHNUNG

Die Ergebnisstruktur des Lebenszykluskostenmodells LEKOS ist entsprechend ÖNORM B 1801 Teil 1 (Errichtungskosten – Baugliederung) und ÖNORM B 1801 Teil 2 (Folgekosten) in Kostenpositionen gegliedert. Eine Analyse der Ergebnisstruktur aus ökologischer Sicht zeigte, dass sich diese mit Hilfe kleiner Anpassungen ebenfalls gut zur Darstellung der ökologischen Modellergebnisse eignet.

Dabei werden im kombinierten ökonomisch-ökologischen Lebenszyklusmodell für jede Kostenposition nicht mehr nur Kosten, sondern auch Umweltindikatoren ausgegeben. Für die erste Modellversion wurde dazu das Treibhauspotenzial (GWP - Global Warming Potential) als geeigneter Indikator ausgewählt. Durch eine Erweiterung der hinterlegten Datenblätter kann das LEKOECOS-Modell zu einem späteren Zeitpunkt jedoch relativ einfach weitere Umweltindikatoren (AP, PEI usw.) berechnen.

Abbildung 3 zeigt die ökonomischen und ökologischen Modellergebnisse mit Kosten und Treibhauspozential (GWP) beispielhaft für einzelne Kostenpositionen der Errichtungskosten (Bodenkonstruktionen) sowie der jährlichen (Strom, Technik) und mehrjährigen (Instandsetzung Fassade) Folgekosten.

> Abb. 3

ÖKOLOGISCHE RELEVANZ UND FESTLEGUNG DER SYSTEMGRENZEN

Wie weiter oben bereits erwähnt, eignet sich die Kostenstruktur nach ÖNORM B 1801 Teil 1 und 2 grundsätzlich zur Darstellung der ökonomischen und ökologischen Modellergebnisse recht gut. Um den Anforderungen der Ökologie gerecht zu werden, wurden einige Kostenpositionen jedoch weiter untergliedert.

Umgekehrt sind auch nicht mit jeder Kostenposition ökologisch relevante Umweltwirkungen verknüpft oder diese mit den derzeit verfügbaren Daten und Methoden wissenschaftlich darstellbar.

Zur Definition der Systemgrenzen wurde daher eine Bewertung der ökologischen Relevanz der einzelnen Produkte, Prozesse und Dienstleistungen des Gebäudelebenszyklus durchgeführt.

Dazu wurde jede Kostenposition auf relevante Umweltwirkungen aus verschiedenen Vorprodukten und Teilprozessen untersucht. Berücksichtigt wurden dabei Umweltwirkungen aus der Herstellung von Materialien und Bauelementen, Umweltwirkungen aus Güter- und Personentransporten, Umweltwirkungen aus der Verwendung von Reinigungsmitteln, Umweltwirkungen aus Energieverbräuchen bei der Errichtung und im Gebäu-

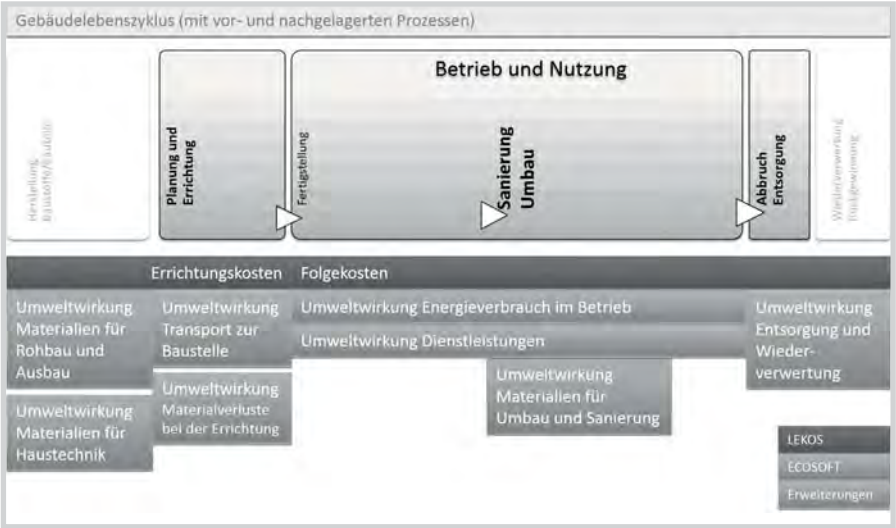

Abb. 2: Kosten und Ressourcen im Gebäudelebenszyklus

kosten

Kostenposition nach B 1801-1 und 2 Beispiele		Kosten	GWP
E2.C.04	Bodenkonstruktionen	€	kg CO_2 eq.
F3.1.b	Strom Technik	€/Jahr	kg CO_2 eq./Jahr
F7.1-4.C	Instandsetzung Fassade	€/Instandsetzung	kg CO_2 eq./Instandsetzung

Abb. 3: Darstellung der ökonomischen und ökologischen Modellergebnisse

debetrieb sowie Umweltwirkungen aus Entsorgungsprozessen.

Für Kostenpositionen, die bei diesem Vorgang als ökologisch relevant eingestuft wurden und deren Umweltwirkungen mit den verfügbaren Daten und Methoden darstellbar sind, werden im LEKOECOS-Modell neben den jeweiligen Kosten auch Ökokennzahlen berechnet und ausgegeben. Abbildung 4 stellt die Ergebnisse dieser Umweltrelevanzanalyse und damit die Systemgrenzen des LEKOECOS-Modells vereinfacht dar.

> Abb. 4

DATENEINGABE UND GRUNDELEMENTE-KATALOG FÜR BAUKONSTRUKTIONEN UND HAUSTECHNIKSYSTEME

Für die angestrebte vollständige Ermittlung der Kosten und der Verbräuche ökologischer Ressourcen über den gesamten Lebenszyklus lässt sich auch in dem einfachen LEKOECOS-Modell der Umgang mit großen Datenmengen nicht vermeiden. Verschiedene Maßnahmen sollen die Anwendung des LEKOECOS-Programms daher vereinfachen und damit seinen Einsatz auch in frühen Planungsphasen ermöglichen. Dazu gehören unter anderem eine aufgabenbezogene Nutzerführung und eine strukturierte anwendungsorientierte Zusammenstellung verschiedener Voreinstellungswerte, welche in wenigen Auswahlschritten für unterschiedliche Gebäudetypen und Nutzungsarten angepasst werden können. Sofern genauere Daten bekannt sind, lassen sich die Voreinstellungswerte jederzeit überschreiben.

Eine weitere Maßnahme zur Vereinfachung der Dateneingabe sind hinterlegte Grundelemente-Kataloge. Diese enthalten typische Baukonstruktionen und Haustechniksysteme für die Gebäudetypen Bürogebäude, Schulen und Wohnbauten sowie die dazugehörigen Ökokennzahlen. Aus den Katalogen können fertige Elemente ausgewählt und nach Bedarf angepasst werden.

DER ENERGIEVERBRAUCH WÄHREND DES BETRIEBS

In der frühen Planungsphase sind ge-

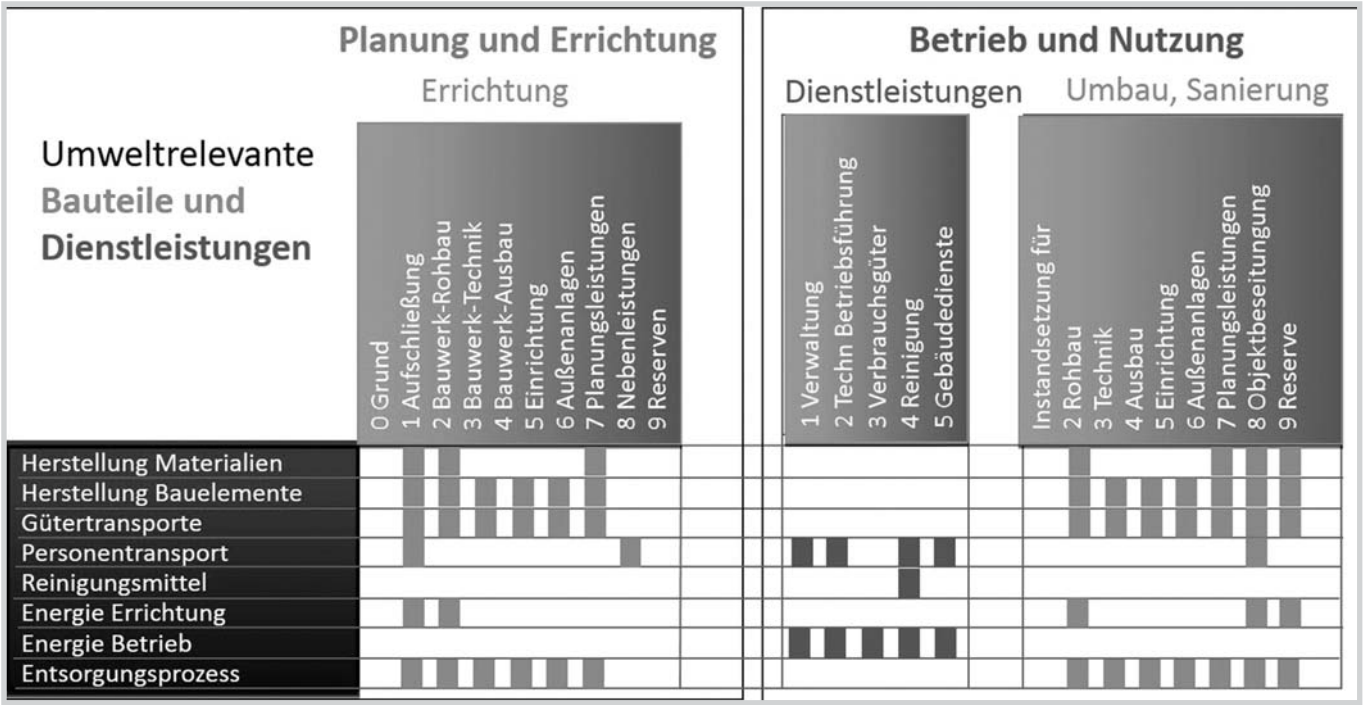

Abb. 4: Umweltwirkungen der Produkte, Prozesse und Dienstleistungen des Gebäudelebenszyklus

naue Daten zur Gebäudequalität noch nicht vorhanden. Es sind jedoch Angaben zum Energiebedarf und zu Energieträgern notwendig, um ökologische Kennzahlen der Errichtungs- und Betriebsphase den Kennzahlen zu Errichtungs- und Folgekosten gegenüberstellen zu können und eine gesamtheitliche Optimierung zu erreichen.

Im Immobilien-Benchmarking werden die Klassifizierungen „niedrige“, „mittlere“, „hohe“ Gebäudequalität verwendet, damit auch ohne Detailwissen vernünftige Annahmen für die vielen erforderlichen Parameter getroffen werden. Diesen Qualitäten sind verschiedene Gebäudekonzepte und Kosten zugeordnet, die bei Auswahl einer Qualität aktiviert werden.

Dieser Ansatz der Klassifizierung aus dem Immobilien-Benchmarking wird auch zur Ermittlung von energierelevanten Ökokennzahlen in LEKOECOS angewendet. Durch Auswahl des Gebäudetyps, der eingesetzten Energieträger und der Klassifizierung des Energiebedarfs in „niedrig“, „mittel“ und „hoch“ kann der Nutzer im Hintergrund definierte Szenarien aktivieren, wenn genaue Energiebedarfszahlen zum Zeitpunkt der Berechnung noch nicht verfügbar sind.

DER MODELLAUFBAU

Da das LEKOECOS-Modell nach Ende des Projekts im Februar 2014 frei zugänglich und für eine möglichst breite Nutzergruppe verfügbar sein soll, wird es nach seiner Fertigstellung als Excel-Programm kostenlos von der Projekt-Webseite zum Herunterladen angeboten werden.

Der Aufbau des Werkzeugs ermöglicht dem Nutzer mit wenigen Auswahlschritten und durch die Eingabe einiger wesentlicher Objektkenndaten zunächst eine rasche Abschätzung der lebenszyklischen Ressourcenverbräuche und Umweltwirkungen. Sind detailliertere Daten vorhanden, so können die hinterlegten Voreinstellungswerte überschrieben werden und genauere Berechnungen erfolgen. Um die Anwendung übersichtlich zu gestalten, ist das Programm daher aus drei unterschiedlichen Arten von Tabellenblättern aufgebaut. Eingabeblätter enthalten eine Nutzerführung und dienen der Eingabe der mindesterforderlichen Daten und Angaben, während die Datenblätter das Rechenmodell, hinterlegte Voreinstellungswerte, die Grundelemente-Kataloge und andere hinterlegte Daten wie Ökokennzahlen, Nutzungsdauern usw. enthalten. Der Nutzer kann diese bei Bedarf bearbeiten und wird über die Eingabeblätter zu den entsprechenden Datenblättern geführt. Die dritte Art an Tabellenblättern dient schließlich der Ergebnisdarstellung.

DIE SYNERGIEN DER GEMEINSAMEN BERECHNUNG ÖKONOMISCHER UND ÖKOLOGISCHER WERTE

Das LEKOECOS-Projekt zeigt sehr deutlich, dass sich die Ziele und Anforderungen von Ökologie und Wirtschaftlichkeit bei Betrachtung des gesamten Gebäudelebenszyklus nicht so sehr unterscheiden. In beiden Fällen steht die Optimierung von lebenszyklischen Ressourcenverbräuchen im Vordergrund. Die betrachteten Ressourcen können dabei ebenso finanzielle Mittel sein wie z.B. Rohstoffe oder Energie. Durch die Kombination der ökonomischen und ökologischen Lebenszyklusbetrachtung kann der Nutzer zugleich alle Ressourcen über den Gebäudelebenszyklus abgestimmt optimieren.

Das LEKOECOS-Modell ermöglicht die Ermittlung wichtiger Kennwerte, für die derzeit noch Berechnungen mit zwei oder mehr verschiedenen Werkzeugen erforderlich sind, wobei sich die jeweils erforderlichen Eingabedaten teilweise überschneiden und keine vollständige Konsistenz der jeweiligen Kennzahlen garantiert ist. Bei der Modellentwicklung zeigte sich außerdem, dass Eingabedaten für die Kostenermittlung teilweise aus Zwischenergebnissen der Ökobilanzierung entnommen werden können und umgekehrt. Einen wesentlichen Vorteil stellt also neben der leichteren Vergleichbarkeit ökonomischer und ökologischer Kennwerte der reduzierte Aufwand bei der Dateneingabe dar.

Im Zuge der Modellentwicklung zeigt sich auch, dass Methoden und Werkzeuge der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wertvolle Inputs für den Umfang und die Systemgrenzen der Betrachtung der ökologischen Ressourcenverbräuche liefern konnten. So wurden etwa Modellteile des Lebenszykluskostentools LEKOS entsprechend adaptiert und für die Ermittlung von Ökokennzahlen verwendet; auch ein umgekehrtes Vorgehen ist vorstellbar.

Das Modell LEKOECOS wird es uns ermöglichen, neue Erkenntnisse über die ökonomisch-ökologischen Optimierung eines Gebäudes über seinen gesamten Lebenszyklus zu erhalten; wir werden schon in der Planungsphase von Gebäuden mögliche ökonomische-ökologische Zielkonflikte erkennen und diese durch Optimierung der Planung bestmöglich lösen können.

QUELLEN:

[1] Floegl, Helmut (2008-2009) Berechnung von Lebenszykluskosten von Immobilien, Forschungsprojekt „Nachhaltig massiv“ des Fachverbands der Stein- und keramischen Industrie der österreichischen Wirtschaftskammer

[2] Austrian Standards Institute (2011) ÖNORM B1801-2 – Bauprojekt- und Objektmanagement – Teil 2: Folgekosten, 2011 04

[3] Austrian Standards Institute (2009) ÖNORM B1801-1 – Bauprojekt- und Objektmanagement – Teil 1: Objekterrichtung, 2009-06